

Magyar Tudomány

KIÉGETT FŰTŐELEMEEK
ÉS RADIOAKTÍV HULLADÉKOK
KEZELÉSE ÉS ELHELYEZÉSE

vendégszerkesztő: Ádám József

Európa tízéves tudományos útiterve

Az öregedés és az Alzheimer-kór

A restitúció kérdései

A Huxley-család

2016•5

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA FOLYÓIRATA. ALAPÍTÁS ÉVE: 1840
177. ÉVFOLYAM – 2016/5. SZÁM

Főszerkesztő:

CSÁNYI VILMOS

Felelős szerkesztő:

ELEK LÁSZLÓ

Olvasószerkesztő:

MAJOROS KLÁRA, SELEANU MAGDALÉNA

Lapterv, tipográfia:

MAKOVECZ BENJAMIN

Szerkesztőbizottság:

BENCZE GYULA, BOZÓ LÁSZLÓ, CSÁSZÁR ÁKOS,
HAMZA GÁBOR, LUDASSY MÁRIA, SOLYMOSSI FRIGYES,
SPÄT ANDRÁS, SZEGEDY-MASZÁK MIHÁLY, VAMOS TIBOR

A lapot készítették:

GIMES JÚLIA, HALMOS TAMÁS, HOLLÓ VIRÁG, MATSKÁSI ISTVÁN, PERECZ LÁSZLÓ,
SIPOS JÚLIA, SZABADOS LÁSZLÓ, F. TÓTH TIBOR, ZIMMERMANN JUDIT

Szerkesztőség:

1051 Budapest, Nádor utca 7. • Telefon/fax: (+36-1)3179-524, telefon: (+36-1)4116-253
matud@helka.iif.hu • www.matud.iif.hu

Előfizetésben terjeszti a Magyar Posta Zrt. Hírlap Igazgatóság, Postacím: 1900 Budapest.
Előfizethető az ország bármely postáján, a hírlapot kézbesítőknél.

Megrendelhető: e-mailen: hirlapelofizetes@posta.hu • telefonon: 06-80/444-444

Előfizetési díj egy évre: 11 040 Ft

Terjeszti a Magyar Posta és alternatív terjesztők

Kapható az ország igényes könyvesboltjaiban

Nyomdai munkák: Inferno Reklám Kft.

Felelős vezető: Farkas Dóra

Megjelent: 11,4 (A/5) ív terjedelemben

HU ISSN 0025 0325

TARTALOM

Kiegészítő elemek és radioaktív hulladékok kezelése és elhelyezése

Vendégszerkesztő: Ádám József

Ádám József – Gadó János – Horváth Ákos: Bevezető	514
Kereki Ferenc: Radioaktív hulladékok magyarországi kezelése és elhelyezése	518
Nős Bálint: A kiegészítő üzemanyag kezelésének nemzeti programja	527
Hózer Zoltán: A kiegészítő üzemanyag jellemzői és feldolgozása	534
Szieberth Máté: A nukleárisüzemanyag-ciklus zárásának lehetőségei	541
Gadó János: Gyorsreaktorok az üzemanyagciklusban	552
Aszodi Artilla: Nukleárisüzemanyag-ciklus – az energiapolitikai perspektíva	560

Tanulmány

Szabó István – Lévai Péter: Európa tízéves tudományos útiterve.

Az ESFRI Roadmap 2016 és magyar kapcsolódásai	563
Penke Botond – Hortobágyi Tibor – Fülöp Livia: Az öregedés és az Alzheimer-kór	573
Hazai Kinga: Mégis, kinek a kincse? A restitúció kérdései	584
Farkas Ákos: Kétszázhusz év az oktatásért, tudományért és kultúráért: a Huxley család	594
Venetianer Pál: A 21. század tipikus tudóshőse: Feng Zhang	602
Kapronczay Károly: A magyar medicina a két világháború között	608

A jövő tudósai

Bevezető (Kiss Rita)	616
Hátrányos helyzetű gyerekek formális és informális tanítása (Lakó István)	616

Kitekintés (Gimes Júlia)

625

Könyvszemle (Sipos Júlia)

Egy tudós gimnáziumi tanár önéletrajza (Vékás Lajos)	629
Kosáry Domokos, az Agrártudományi Egyetem tudományszervező könyvtárigazgatója (Ormos Mária)	631
Középkori hadtörténet új megközelítésben (Pozsár Dániel)	634
Metaforák metaforája (Forgács Bálint)	636
Fővárosi utcák és terek a település-morfológia szemüvegén keresztül (Balogh András)	639

Kiégett fűtőelemek és radioaktív hulladékok kezelése és elhelyezése

BEVEZETŐ

Ádám József Gadó János

az MTA rendes tagja, egyetemi tanár, BME,
az MTA Környezettudományi Elnöki Bizottság
„Energetika és Környezet” Albizottságának elnöke
jadam@epito.bme.hu

az MTA doktora, professor emeritus,
MTA Energiatudományi Kutatóközpont,
az MTA Energetikai Tud. Bizottságának elnöke
gado.janos@energia.mta.hu

Horváth Ákos

PhD, főigazgató, MTA Energiatudományi Kutatóközpont,
az MTA Környezettudományi Elnöki Bizottság „Energetika és Környezet” Albizottságának titkára
horvath.akos@energia.mta.hu

Az atomenergia a hazai energiarendszer napjainkban nélkülözhetetlen, szerves része. A nukleáris energia termelésének sajátossága, hogy az atomerőművek működése során a környezetre veszélyes radioaktív hulladékok is keletkeznek, amelyeket a környezet megóvása érdekében összegyűjtenek, kezelnek és biztonságosan elhelyeznek. A képződő radioaktív hulladékokról Magyarországon a közel két évtizede létesített Radioaktív Hulladékokat Kezelő (RHK) Közhasznú Nonprofit Kft. (URL₁) elnevezésű állami cég gondoskodik. Megfelelő létesítményeket hoztak létre az elmúlt négy évtized folyamán, és még továbbiakra lesz szükség az elkövetkezendő évtizedekben. Míg a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok kezelése és tárolása lényegében megoldottnak tekinthető, addig a nagy aktivitású és hosszú élettartamú radio-

aktív hulladékok, valamint az ún. „kiégett” fűtőelemek kezelésének és tárolásának végleges elhelyezésére vonatkozó döntéshez kiterjedt kutató-fejlesztő és innovatív munkára van szükség. (Megjegyezzük, hogy a „kiégett” az a folyamat, amelynek során a fűtőelemekben lejátszódó maghasadások következtében a hasadóképes atomok száma folyamatosan csökken, és ennek következtében a fűtőelemek előbb-utóbb alkalmatlanná válnak az energiatermelésre.)

A kiégett fűtőelemek végleges mélygeológiai elhelyezése a probléma egyik lehetséges megoldása, amelyre már láthatunk példát Finnországban és Svédországban. Egy másik lehetőség a kiégett fűtőelemek újrafeldolgozása, a hasadóanyag kinyerése és újrahasznosítása. Ez a megoldás nagyon vonzónak tűnik, mivel ily módon a mindenképpen keletkező

nagy aktivitású hulladék tárolási időszükséglete nagyságrendekkel csökkenthető. A lehetőség kiaknázásához azonban nagyon komoly nemzetközi kutatási erőfeszítésekre van még szükség, mind az újrafeldolgozás módszerei, mind pedig az újrahasznosítást végző atomreaktorok tekintetében. Az újrahasznosítás kulcsa az ún. gyorsreaktorok kifejlesztése és rendszerbe állítása, ami a 21. század egyik komoly kutatási-fejlesztési kihívása. A gyorsreaktorok alkalmazása lehetővé tenné hasadóanyagok előállítását is olyan mértékben, hogy ennek révén az atomenergetika nyersanyagellátása évezredekre megoldódna.

Fentiekre tekintettel az MTA Környezettudományi Elnöki Bizottság (KÖTEB) „Energetika és Környezet” Albizottsága a 2015 elején tartott ülésén határozta el, hogy mivel a szóban levő témakör hazai és nemzetközi szinten egyaránt rendkívül időszerű és kiemelkedően fontos, ezért a kiégett fűtőelemek (üzemanyag) és a radioaktív hulladékok kezelésével és tárolásával kapcsolatos eddig elért hazai és nemzetközi eredményeket, továbbá a vonatkozó további feladatokat, lehetséges fejlődési/fejlesztési irányzatokat előadói ülés keretében mutassuk be és vitassuk meg. A témakörrel kapcsolatban néhány fontos körülmény az albizottsági elhatározást követően merült fel, még jobban megerősítve a témakör időszerűségét.

Az Európai Unió (EU) Tanácsának 2011/70/Euratom irányelve előírja, hogy az EU tagországaiban nemzeti stratégiát és szabályozást kell kidolgozni a kiégett nukleáris fűtőelemek és a radioaktív hulladékok kezelésével és tárolásával kapcsolatban. Az említett európai szabályzat szerint tehát minden, atomerőművel rendelkező országnak saját magának kell megoldania a radioaktív hulladékok kezelését és elhelyezését. Magyarországon

ebben a vonatkozásban is több évtizede folyik kiterjedt tudományos kutató-fejlesztő és gyakorlati munka (például Aszódi, 2007, 2008, 2015; Bárdossy, 1995, 1998, 1999, 2000; Hegyháti, 2007; Ormai – Hegyháti, 2009; Schweitzer et al., 2008; Szentgyörgyi, 1991; Vajda, 1993, 1998). Fontos fejlemény, hogy a magyar Országgyűlés az EU előírásának megfelelően a 21/2015. (V.4.) OGY határozatával elfogadta a kiégett üzemanyag és a radioaktív hulladék kezelésének nemzeti politikájáról szóló dokumentumot. A nemzeti politika egyaránt vonatkozik az országban képződött és képződő összes (atomerőművi és intézményi [nem erőművi]) radioaktív hulladéokra és kiégett üzemanyagra, keletkezésüktől a végső elhelyezésükig, figyelembe véve a nukleáris létesítmények leszerelését is (URL₂).

Az Európai Akadémiák Tudományos Tanácsadó Testülete (European Academies' Science Advisory Council – EASAC, URL₃) és az Európai Bizottság Közös Kutatóközpontja (Joint Research Centre of the European Commission – EC-JRC, URL₄) 2015-ben közzétett közös jelentésében összegezte az atomerőművek használt fűtőelemeivel és a radioaktív hulladékok biztonságos kezelésével kapcsolatos teendőket. E jelentés átfogó tartalmi bemutatóját 2015. június 10-én tartották az MTA székházában (URL₅).

Az Európai Bizottság 2015. szeptember elején tájékoztatta a magyar kormányt arról, hogy a műszaki tartalmat illetően jóváhagyta a paksi atomerőmű kapacitásfenntartásáról szóló szerződését. Az Európai Bizottság szerint Paks II. teljesíti az Európai Atomenergia Közösség (Euratom) vonatkozó szerződésének célkitűzéseit, mert többek között kielégítőnek tartja hazánkban a radioaktív hulladékok kezelésével és tárolásával kapcsolatos magas szintű tevékenységet.

Különösen fontos, hogy 2015. augusztus/szeptember folyamán elindult a Nemzeti Nukleáris Kutatási Program című négyéves időtartamú projekt, amely a célkitűzések és jól megfontolt szándékok szerint várhatóan új lendületet ad a hazai nukleáris kompetencia fenntartását és bővítését célzó törekvéseknek. A projektet megvalósító konzorciumot az MTA Energiatudományi Kutatóközpontja vezeti. A projekt célja az atomenergia hosszú távú biztonságos alkalmazásának és társadalmi elfogadottságának folyamatos biztosítása (ezek optimális mértékű elérése), melyhez a megfelelő szaktudás és a nukleáris biztonsági kultúra megléte elengedhetetlen. (Ennek szükségességét különösképpen hangsúlyozza hazánk energiastratégiai programja is [Lovas, 2012].) Ezt felismerve az illetékes szakemberek jövőbe mutató, stratégiai jelentőségű, szakmailag jól körülhatárolt, összefüggő kutatás-fejlesztési feladatokat és elérendő célokat dolgoztak ki, amelyek tartalmazzák a kiégett üzemanyag és radioaktív hulladékok biztonságos kezelésével és tárolásával kapcsolatos megfogalmazott feladatokat is (URL6). A magyar kutatók e projekt révén részt tudnak vállalni a gyorsreaktorok kidolgozását célzó nemzetközi kutatási-fejlesztési erőfeszítésekben.

A témakör átfogó bemutatása és alapos megvitatása céljából Albizottságunk az MTA Energetikai Tudományos Bizottságával közösen 2015. október 1-én az MTA Műszaki Tudományok Osztályával, a Kémiai Tudományok Osztályával, a Földtudományok Osztályával és a Fizikai Tudományok Osztályával együttes tudományos előadói ülést szervezett az MTA székházában. Az előadói ülések célja a nukleáris energia termelése során keletkező kiégett fűtőelemek és radioaktív hulladékok kezelésével és tárolásával összefüggő

témakör mélyebb megismerése és megvitatása, az eddig szerzett ismeretek közreadása, továbbá a lehetséges fejlesztési irányzatok bemutatása. Ehhez a témakör hozzátartozó és a témát művelő szakembereit, szakértőit kértük fel, akik készséggel és örömmel vállalták a szükséges felkészülést. Az előadói ülések programját gondos előkészítő munkával alakítottuk ki, amelyben a szervező bizottságok vezetői mellett Aszódi Attila kormánybiztos és a felkért előadók voltak segítségünkre. Az egyeztető megbeszélés keretében azt is elhatároztuk, hogy a témakör iránt mutatkozó növekvő érdeklődés miatt az elhangzott előadások írásos változatát cikkgyűjtemény keretében jelentetjük meg, amelyeket elhangzásuk sorrendjében adunk közre: 1. Radioaktív hulladékok magyarországi kezelése és elhelyezése (*Kereki Ferenc*); 2. A kiégett üzemanyag kezelésének nemzeti programja (*Nős Bálint*); 3. A kiégett üzemanyag jellemzői és feldolgozása (*Hózer Zoltán*); 4. A nukleáris üzemanyag-ciklus zárásának lehetőségei (*Szieberth Máté*) és 5. Gyorsreaktorok az üzemanyagciklusban (*Gadó János*). Az elhangzott előadások keretében bemutatott ábraanyag: URL7. Az előadói ülések végén kialakult élénk vita során kérdések és hozzászólások hangzottak el. A vita befejezése előtt szólt hozzá Aszódi Attila kormánybiztos. Fontos gondolatokat tartalmazó értékes hozzászólásának felkérésünkre elkészített írásos változatát a cikkgyűjtemény lezárásaként adjuk közre.

Megjegyezzük, hogy a *Magyar Tudomány* folyóiratban legutóbb a 2007/1. számban jelent meg *Atomenergia* főcímmel atomenergetikával kapcsolatos cikkgyűjtemény. A hazánkban képződő radioaktív hulladékok elhelyezésének témakörét az elmúlt évtizedekben több tanulmány is tárgyalta, amelyeket nagyrészt a *Magyar Tudomány*, illetve az MTA

egyéb kiadványai jelentettek meg. Az MTA Elnökségi Környezettudományi Bizottsága (a KÖTEB elődszervezete) is foglalkozott a vonatkozó időszzerű kérdésekkel (például 1995. május 3-i ülésén fontos állásfoglalásban összegezték az akkor időszzerű feladatokat [Bárdossy, 1995], amelyek napjaink vonatkozó munkáját is meghatározzák).

IRODALOM

- Aszódi Attila (2007): Atomerőművek a villamosenergia-termelésben. *Magyar Tudomány*. 167, 1, 11-18. • <http://www.matud.iif.hu/07jan/04.html>
- Aszódi Attila (2008): Atomenergia. Üzemidő-hosszabbítás, újgenerációs erőmű, hulladék. In: Szentgyörgyi Zsuzsa (szerk.): *Tanulmányok a magyarországi energetikáról*. MTA, Budapest, 171-182.
- Aszódi Attila (2015): A paksi atomerőmű kapacitás-fenntartásának energiapolitikai és környezeti vonatkozásai. Előadás az MTA Környezettudományi Elnöki Bizottság (KÖTEB) és „Energetika és Környezet” Albizottságának együttes ülésén, MTA, Budapest, 2015. február 19.
- Bárdossy György (1995): A radioaktív hulladék elhelyezésének kérdései Magyarországon. *Magyar Tudomány*. 8, 935-943.
- Bárdossy György (1998): A radioaktív hulladékok elhelyezése Magyarországon. *Földtani Közlemények*. 128, 1, 179-196.
- Bárdossy György (1999): *A radioaktív hulladék hazai elhelyezésének földtudományi alapjai*. Székhelyi tanulmányok a Magyar Tudományos Akadémián, MTA, Budapest.
- Bárdossy György (2000): Megoldható a radioaktív hulladékok elhelyezése. *Magyar Tudomány*. 2, 200-206.
- Hegyháti József (2007): Radioaktív hulladékok kezelése és végleges elhelyezése. *Magyar Tudomány*. 167, 1, 27-30. • <http://www.matud.iif.hu/07jan/07.html>
- Lovas Rezső (szerk.) (2012): Áttekintés Magyarország energiastratégiájáról. (MTA Köztisztviselői Stratégiai Programok) MTA, Bp. • <http://tinyurl.com/jkpqqkl>
- Ormai Péter – Hegyháti József (2009): Merre tart az Európai Unió a nukleáris hulladékok kezelése területén? *Fizikai Szemle*, LIX, 11, 381-384. • <http://tinyurl.com/htgsf8c>
- Schweitzer Ferenc – Bérci K. – Balogh J. (2008): *A Bácskai Ártéri Ártéri Nemzeti Radioaktív Hulladék-tároló Környezetföldrajzi vizsgálata*. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest.
- Szentgyörgyi Zsuzsa (1991): Nukleáris hulladékok kezelése és tárolása a fejlett országokban. *Magyar Tudomány*. 1991/9, 1094-1103.

dossy, 1995], amelyek napjaink vonatkozó munkáját is meghatározzák).

Kulcsszavak: *KÖTEB „Energetika és Környezet” Albizottsága, atomenergia, kiégett fűtőelemek, radioaktív hulladékok*

- Vajda György (1993): Mi lesz az atomerőmű hulladékaival? *Magyar Tudomány*. 11, 1324-1329.
- Vajda György (1998): Energiaforrások. *Magyar Tudomány*. 6, 645-675.
- URL1: <http://www.rhk.hu>
- URL2: <http://tinyurl.com/hq5ppo3>
- URL3: <http://www.easac.eu>
- URL4: <https://ec.europa.eu/jrc>
- URL5: <http://tinyurl.com/zpgwrhm>
- URL6: <http://tinyurl.com/grts3o>
- URL7: <https://doktar.titkarsag.mta.hu/koteb/>

A CIKKEKBEN ELŐFORDULÓ RÖVIDÍTÉSEK

- ADS – accelerator driven system – gyorsítóval hajtott szubkritikus rendszer
- BAF – Bodai Agyagkő Formáció
- GFR – gas fast reactor – gázhűtésű gyorsreaktor
- MA – másodlagos aktinidák (neptúnium, amerícium, kúrium)
- KKÁT – Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolója
- KNPA – Központi Nukleáris Pénzügyi Alap
- MOX-üzemanyag – A nukleáris reaktorok üzemanyagának az a típusa, amelyben a reprocesszálsból származó plutóniumot kevernek szegényített uránnal (mixed-oxide fuel).
- NRHT – Nemzeti Radioaktív Hulladék-tároló, Bataapáti
- OAH – Országos Atomenergia Hivatal
- PUREX – eljárás – Plutonium and Uranium Recovery by Extraction
- REMIX-üzemanyag – Nukleáris reaktorok újrahaznosított üzemanyaga, amelyben a kiégett fűtőelemekből származó urán és plutónium keveréket dúsított uránnal keverik össze.
- RHK – Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft. (a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Társaság utóda)
- REPUOX – üzemanyag – Reprocessált urán-dioxid üzemanyag (Reprocessed Uranium Oxide)
- RHFT – Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló, Püspökszilágy

RADIOAKTÍV HULLADÉKOK MAGYARORSZÁGI KEZELÉSE ÉS ELHELYEZÉSE

Kereki Ferenc

ügyvezető igazgató, Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft.
kereki.ferenc@rhk.hu

Bevezetés

Az atomenergia alkalmazása során keletkező radioaktív hulladékok kezelése Magyarországon is élettartamuktól és aktivitásuktól függően történik. Elsőként 1976-ban a püspökszilágyi Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló (RHFT) lépett üzembe. A tároló az intézményi (nem atomerőművi eredetű) kis és közepes aktivitású, rövid élettartamú radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére és nagy aktivitású, illetve hosszú élettartamú radioaktív hulladékok átmeneti tárolására szolgál. 2012 decemberétől üzemel a Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló (NRHT) a Paksi Atomerőmű kis és közepes aktivitású, rövid élettartamú hulladékainak végleges elhelyezésére.

A nagy aktivitású, illetve hosszú élettartamú hulladékok végleges elhelyezésére alkalmas tároló telephelyének kutatása több évtizede folyik a Nyugat-Mecsek térségében, a bodai agyagköben. Ez a tároló alkalmas lehet a kiégett fűtőelemek közvetlen elhelyezésére is, ha a nukleárisüzemanyag-ciklus lezárására ez a döntés születik (Nős, 2016). A Paksi Atomerőmű kiégett üzemanyagát jelenleg az atomerőmű szomszédságában lévő Kiégett Kazeták Átmeneti Tárolójában tárolják.

Az épülő, üzemelő tárolók és a kutatási helyszín környezetében lévő önkormányzatok ellenőrzési és információs célú önkormányzati társulások hoztak létre. A társulások segítik a lakosság bizalmának elnyerését.

A tanulmány a radioaktív hulladékok kezelésének jogi és szervezeti kereteit, a finanszírozási rendszert, továbbá a radioaktív hulladékok elhelyezésére épült RHFT-t és NRHT-t ismerteti.

A radioaktív hulladékok kezelésének és elhelyezésének jogi és szervezeti keretei

Magyarországon az atomenergia alkalmazásának elterjedésével együtt kialakultak a jogszabályi keretek, és 1980-ban megszületett az atomenergiáról szóló I. törvény, amely magas szinten szabályozta az atomenergia alkalmazását, megteremtve a biztonság elsőbbségét. A következő évek kutatási-fejlesztési eredményei, a gyakorlati tapasztalatok, a szigorodó hatósági és nemzetközi elvárások azonban a 90-es évek közepén szükségessé tették az atomenergiával kapcsolatos jogszabályok korszerűsítését.

Magyarországon a legtöbb radioaktív hulladék a Paksi Atomerőmű üzemeléséből, illetve majdani leszereléséből származik. Az

atomenergiáról szóló első, 1980. évi I. törvényt felváltó 1996. évi CXVI. törvény (a továbbiakban: Atomtörvény) külön fejezetben foglalkozik a radioaktív hulladékokkal, a hulladékkezelés alapelveivel, a biztonsági követelményekkel, és megoldást ad a szükséges tevékenységek finanszírozására, a hulladéktermelők befizetéseiből képződő Központi Nukleáris Pénzügyi Alap (KNPA) létrehozásával. Megalkotásakor és későbbi módosításakor fontos szempont volt az Európai Unió irányelveinek, a Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet (OECD) vonatkozó állásfoglalásainak és a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) biztonsági szabályzatainak figyelembevétele.

Az Atomtörvény előkészítésének időszakában (1995-1996) már folyamatban volt a NAÜ keretében a kiégett fűtőelemek és radioaktív hulladékok kezelésének biztonságáról szóló nemzetközi egyezmény kidolgozása. A 2001-ben hatályba lépett egyezmény a biztonsági követelmények között általános elveket rögzít:

- az egyének, a társadalom és a környezet hatáson védelmének kötelezettsége,
- a jövőbeni generációk szükségtelen terhelésének elkerülése, és
- a radioaktív hulladékok keletkezésének korlátozása a gyakorlatban lehetséges legkisebb mértékre.

Az Atomtörvény már tartalmazta ezeket az alapelveket, és előírta egyebek között, hogy

- a biztonságnak minden más szemponttal szemben elsőbbsége van,
- az emberi egészségre és a környezetre gyakorolt hatás az államhatárokon túl sem lehet nagyobb a belföldön elfogadottnál,
- új nukleáris létesítmény és radioaktív hulladék-tároló létesítését előkészítő tevékenység megkezdéséhez az Országgyűlés előzetes elvi hozzájárulása szükséges.

Az Atomtörvény 40. §-ának (1) bekezdése előírja, hogy „A Kormány által kijelölt szerv tesz javaslatot a radioaktív hulladék és a kiégett üzemanyag kezelésére vonatkozó nemzeti politikára és nemzeti programra, valamint azok felülvizsgálatára, továbbá gondoskodik a radioaktív hulladék végleges elhelyezésével, a kiégett üzemanyag átmeneti tárolásával, a nukleárisüzemanyag-ciklus lezárásával, és a nukleáris létesítmény leszerelésével összefüggő feladatok elvégzéséről.”

Ennek megfelelően a kormány felhatalmazásával 1998. június 2-án az Országos Atomenergia Hivatal (a továbbiakban OAH) megalapította a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Társaságot, amely 2008-ban Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft.-vé (a továbbiakban RHK Kft.) alakult.

2011. augusztus 2-án az Európai Unió hivatalos lapjában megjelent a Tanács 2011/70/Euratom (2011. július 19.) irányelve a kiégett fűtőelemek és a radioaktív hulladékok felelősségteljes és biztonságos kezelését szolgáló közösségi keret létrehozásáról (a továbbiakban: Irányelv). Az Irányelv átfogóan szabályozza a kiégett fűtőelemek (azaz a kiégett nukleáris üzemanyag) és a radioaktív hulladékok kezelését, előírja az erre vonatkozó nemzeti politika, nemzeti program és nemzeti rendszer létrehozását, valamint az ezekkel kapcsolatos követelményrendszert.

Az Irányelv átültetésének határideje 2013. augusztus 23. volt, amit Magyarország teljesített. Az átültetés elsősorban az Atomtörvény módosítását igényelte, amelyet a jogharmonizáció mellett az atomenergetika egyre növekvő fontossága is indokolt. Az Atomtörvény módosítása – összhangban az Irányelvvel – előírja a kiégett fűtőelemek és a radioaktív hulladékok kezelésére vonatkozó nemzeti politika

és nemzeti program kidolgozását, és rögzíti az ezekben figyelembe veendő alapelveket.

A nemzeti politikát a 21/2015. (V. 4.) OGY határozattal fogadta el az Országgyűlés. A nemzeti program kormány általi jóváhagyása még folyamatban van, mert ahhoz el kell végezni a stratégiai környezeti vizsgálatot, de a kormány a nemzeti programról szóló jelentést tudomásul vette, és hozzájárult az Európai Bizottság tájékoztatásához a nemzeti program tartalmáról.

Az Atomtörvény 2013. évi módosítása két további fontos változást hozott:

- a KNPA kezelője 2014. január elsejétől az OAH helyett a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium,
- a radioaktív hulladék-tároló engedélyező, felügyelő hatósága 2014. július 1-től a sugáregészségügyi centrumok helyett az OAH.

2013-ban az Atomtörvényben kapott felhatalmazás alapján több új végrehajtási rendelet is megjelent:

A radioaktív hulladékokkal és a kiégett üzemanyaggal kapcsolatos egyes feladatokat ellátó szerv kijelöléséről, tevékenységéről és annak pénzügyi forrásáról szóló 215/2013. (VI. 21.) Korm. rendelet részletezi az RHK Kft. tervezési és beszámolási, létesítési, üzemeltetési, leszerelési és a nukleárisüzemanyag-ciklus lezárásával kapcsolatos feladatait.

A Kormány az Atomtörvényben kapott felhatalmazással a 213/2013. (VI. 21.) Korm. rendelettel létrehozta a Központi Nukleáris Pénzügyi Alap Szakbizottságot, amely a KNPA-val rendelkező miniszter munkájának segítése érdekében értékelő és előzetes állásfoglalást kialakító testületként működik. Szavazati joggal, illetve tanácskozási joggal rendelkező tagjait az érintett miniszterek és szervezetek delegálják. Az RHK Kft. és a

KNPA-ba befizető szervezetek képviselői csak tanácskozási joggal vesznek részt a szakbizottság munkájában.

A KNPA költségvetése a Magyarország központi költségvetéséről szóló törvényben külön soron tartalmazza az ellenőrzési és információs célú önkormányzati társulások támogatását. A 214/2013. (VI. 21.) Korm. rendelet előírja, hogy ezt a támogatást a rendelet 1. mellékletében szereplő képlet alkalmazásával kell felosztani a társulások között. A támogatási szerződést a KNPA kezelője köti a társulásokkal, az RHK Kft. közreműködőként veszenne részt. A társulásoknak nyújtott támogatásra való jogosultság feltétele a tájékoztató és ellenőrzési tevékenység ellátása.

A radioaktív hulladékok átmeneti tárolását vagy végleges elhelyezését biztosító tároló létesítmények biztonsági követelményeit és az ezekkel összefüggő hatósági tevékenységeket a 2014-ben hatályba lépett 155/2014. (VI. 30.) Korm. rendelet tárgyalja. A tároló létesítmények irányítási rendszerére, biztonságára, és életciklusuk egyes szakaszaira, valamint azok felügyeletére vonatkozó részletes előírásokat a rendelet 1. és 2. mellékletét képező biztonsági szabályzatok tartalmazzák.

A fentieket összefoglalva megállapítható, hogy az Atomtörvény és végrehajtási rendeletei meghatározzák a kiégett fűtőelemek és a radioaktív hulladékok kezelésének különböző lépéseiben közreműködő szervek felelősségi köreit és kapcsolatrendszerét. Az RHK Kft. mint az Atomtörvényben meghatározott feladatok végrehajtására kijelölt szerv a KNPA-val rendelkező miniszter és a KNPA kezelőjének irányítása és felügyelete alá tartozik. Ugyanakkor tevékenységét mint engedélyesnek az illetékes hatóságok követelményeinek, előírásainak megfelelően kell végeznie, és meg kell felelnie jelentéstételi kötelezettségeinek.

Az RHK Kft. működését az is meghatározza, hogy alapítója, a tulajdonosi jogok gyakorlója az állami vagyronról szóló 2007. évi CVI. törvény alapján a Magyar Nemzeti Vagyongazdálkodó Zrt.

A Központi Nukleáris Pénzügyi Alap

A radioaktív hulladékokkal, kiégett fűtőelemekkel, a nukleárisüzemanyag-ciklus lezárásával és a nukleáris létesítmények leszerelésével kapcsolatos, az Atomtörvényben meghatározott feladatok finanszírozására az Atomtörvény 1998. január 1-jével létrehozta a Központi Nukleáris Pénzügyi Alapot, amely az államháztartásról szóló törvény szerinti elkülönített állami pénzalap. A KNPA-val az OAH-t felügyelő miniszter rendelkezik. Kezeléséért 2014. január 1-jéig az OAH volt felelős, ezt követően ez a feladat a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium hatáskörébe került.

A KNPA forrását az atomenergia azon alkalmazóinak befizetései képezik, akiknél radioaktív hulladék keletkezik. A legnagyobb befizető az MVM Paksi Atomerőmű Zrt., amelynek még az üzemideje alatt be kell fizetnie a KNPA-ba az atomerőműben keletkező radioaktív hulladékokkal és kiégett fűtőelemekkel, valamint az atomerőmű leszerelésével kapcsolatos minden költség fedezésére szolgáló pénzeszközöket.

A központi költségvetésből finanszírozott nukleáris létesítmények (a Budapesti Kutatóreaktor és a BME NTI Oktatóreaktor) részére a központi költségvetés fedezi a befizetéseket, amikor a költségek felmerülnek. A radioaktív hulladékot elhelyező egyéb intézményeknek szintén van befizetési kötelezettségük, amelyet az Atomtörvény melléklete határoz meg. Az atomerőmű befizetéseiből történik az ellenőrzési és információs célú önkormányzati társulások támogatása, vala-

mint az RHFT biztonságnövelési és üzemeltetési költségeiből a beszállítók befizetései által nem fedezett hányad finanszírozása is.

A KNPA felhasználására az RHK Kft. közép- és (egészen a nukleáris létesítmények leszereléséig terjedő) hosszú távú, évente aktualizált tervet készít, amelyet a KNPA-val rendelkező miniszter hagy jóvá. A KNPA-ba történő befizetéseket e tervekkel összhangban állapítják meg, figyelembe véve az OAH előzetes szakmai értékelését. Az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. éves befizetési kötelezettségére a KNPA-val rendelkező miniszter tesz javaslatot. A KNPA betéttartalma 2015 végén 255 Mrd Ft volt.

Annak érdekében, hogy a KNPA megőrizze értékét, a központi költségvetés a KNPA előző évi átlagos állományának alapján, a jegybanki alapkamat előző évi átlagának figyelembevételével hozzájárul a KNPA-hoz. Ezt az összeget a költségvetési törvény KNPA fejezete „költségvetési támogatásnak” nevezi, de valójában ez a befizetés a KNPA hosszú távú értékeltartását szolgálja.

A KNPA a Magyar Államkincstár egy elkülönített számláján van. Az Állami Számvevőszék évente ellenőrzi az alap költségvetésének tervezését, a költségvetés végrehajtását és a feladatok teljesülését.

Radioaktív hulladék-tárolók kis és közepes aktivitású hulladékok számára

A radioaktív hulladékok kezelésének nemzeti politikája és programja kimondja, hogy a hazánkban keletkező kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék végleges elhelyezését Magyarországon létesített radioaktív hulladék-tárolókban kell megvalósítani. A tárolókat úgy kell kialakítani, hogy a telephely, a befogadó közet és az alkalmazott műszaki megoldások az elhelyezett hulladék jellemző-

ihez igazodóan együttesen biztosítsák a hulladék elszigetelését az élő környezettől. Ez összhangban van az eddigi gyakorlattal és a közép- és hosszú távú tervekkel, mivel a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék elhelyezését erre a célra létrehozott tárolókban valósítjuk meg. Ezt a tevékenységet ismertetik a Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tárolót, valamint a Nemzeti Radioaktív hulladék-tárolót bemutató következő fejezetek.

A Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló

A kis és közepes aktivitású, rövid élettartamú, intézményi eredetű radioaktív hulladékok elhelyezésére szolgáló RHFT-t 1976-ban helyezték üzembe. A létesítmény Püspökszilágy és Kismémedi közigazgatási területén helyezkedik el, Budapesttől 40 km-re észak-keletre. A tároló tipikus felszínközeli létesítmény, amely a hulladék végleges elhelyezésére szolgáló négy medencesorból és az elhasznált zárt sugárforrások tárolására létesített kutakból áll (1. ábra).



1. ábra • A Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló látképe

A földtudományi vizsgálatok szerint az RHFT-t nem lehet olyan mértékben bővíteni, hogy a Paksi Atomerőmű üzemeléséből, majd leszereléséből származó hulladékot is ott helyezték el. Így a Paksi Atomerőműben keletkező kis aktivitású szilárd hulladékot csak átmeneti megoldásként szállították az RHFT-be. 1983 és 1996 között 1580 m³ atomerőművi eredetű hulladék került az RHFT-be, összesen kb. 2500 m³ tárolótérfigatort elfoglalva. Ennek ellentételezésére az RHFT kapacitását 1990-ben a Paksi Atomerőmű beruházásában 3540 m³-ról 5040 m³-re növelték.

1998-ban az RHK Kft. átvette az RHFT üzemeltetését, és koncepciótervet dolgozott ki a tároló korszerűsítésére és biztonságának értékelésére. Noha az RHFT majd negyven éve megbízhatóan működik, egyes korábban elhelyezett hulladékfajták a hosszú távú biztonságot kedvezőtlenül befolyásolják. A biztonsági értékelések eredményei azt mutatják, hogy a hulladékréteg megbolygatása esetén a tárolóban elhelyezett egyes elhasznált zárt

sugárforrások és hosszú élettartamú hulladékok felszínre kerülése meg nem engedett sugárterhelést okozhat mind a behatólok, mind a tároló környezetében élő lakosság egyes tagjai esetében.

2002-ben ezért többütemű program indult a tároló hosszú távú biztonságának növelésére és a tároló korszerűsítésére. A programnak része volt egy átmeneti tároló létesítése a technológiai épületben a nukleáris, illetve hosszú élettartamú hulladékok számára, amelyeket majd a nagy aktivitású hulladékok tárolójában fognak véglegesen elhelyezni. A biztonságnövelő programnak a KNPA-val rendelkező miniszter által 2002 augusztusában jóváhagyott első üteme 2005-ben lezárult, és jóváhagyásra került az első – előkészítő – ütem eredményeire támaszkodó, 2006-ban induló második ütem, amelynek célja volt:

- a tároló biztonságossá tétele a tároló lezárása után, az intézményes ellenőrzést követő időszakra;
- a biztonság fenntartásához szükséges korszerűsítések elvégzése;
- a 2005 óta betelt tároló alkalmassá tétele további intézményi hulladékok elhelyezésére.

A biztonságnövelő program II. ütemében, 2009-re fejeződött be egy demonstrációs program, amelynek fő feladata volt, hogy négy tárolómedence felnyitásával, tartalmának átválogatásával, majd az átválogatott hulladék megfelelő visszahelyezésével információt szolgáltatson a teljes (a további tárolómedencékre kiterjedő) biztonságnövelő program megvalósíthatóságáról.

A demonstrációs program végrehajtása során egyrészt közel egy medencényi nettó tárolókapacitás szabadult fel, másrészt a technológiai épület 2005 óta üzemelő átmeneti tárolójában a korábban befejezett fejleszté-

seknek köszönhetően mind a hordós hulladékok, mind az elhasznált sugárforrások elhelyezésére lehetőség nyílt, így megoldottá vált az intézményi kis és közepes aktivitású hulladékok fogadása a következő évekre is.

Most a soron következő feladat a további medencék feltáráshoz szükséges könnyűszerkezetes csarnoképület és konténment, valamint a kapcsolódó technológiai eszközök kivitelezéséhez szükséges engedélyezési és közbeszerzési eljárások lefolytatása. A könnyűszerkezetes csarnoképület hivatott az időjárás elleni védelmet biztosítani a teljes medencesor felett, míg a konténment az egyes nyitott medencékben végzett munkákat szigeteli el a környezettől.

Az RHFT-ben a közelmúltban, illetve jelenleg végzett korszerűsítési munkák közül ki kell emelni az alábbiakat:

Megtörtént az iroda-laborépület kibővítése.

A fizikai védelmi rendszerek korszerűsítése keretében új külső kerítés épült ki, új figyelő-ellenőrző-riasztó rendszer került telepítésre. A vizuális ellenőrző rendszer egyes elemeinek (kamerák és érzékelők) egy részét az OAH-DOE (The United States Department of Energy, az USA energetikai minisztériuma) közötti, a terrorizmus elleni együttműködés keretében a DOE finanszírozta.

A technológiai épületben a légtechnikai rendszer rekonstrukciós munkáinak megkezdéséhez le kell folytatni a hatósági engedélyeztetést és a közbeszerzési eljárást.

Az RHFT-re vonatkozó nemzeti politika szerint a hosszú távú cél a folyamatos üzemeltetés legalább 2064-ig. Az RHFT a továbbiakban kizárólag a nem atomerőművi eredetű kis és közepes aktivitású hulladékok végleges elhelyezését szolgálja. A hosszú élettartamú hulladékok tárolását csak a nagy aktivitású

és/vagy hosszú élettartamú hulladékok tárolójának megépüléséig, átmenetileg oldja meg az RHFT.

Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló

Mivel az RHFT befogadóképessége nem volt növelhető olyan mértékben, hogy kielégítse az atomerőmű teljes szükségletét, több próbálkozás után 1993 elején nemzeti program indult az atomerőműből származó kis és közepes aktivitású hulladék végleges elhelyezésére.

Az előzetes geológiai vizsgálatok, valamint a biztonsági és gazdasági elemzések alapján, a környező lakosság befogadási hajlandóságát is figyelembe véve, 1996-ban javaslat született, hogy Bataapáti területén (mintegy 45 km-re délnyugatra Pakstól) végezzenek további vizsgálatokat egy gránitba mélyítendő geológiai tároló létesítése érdekében. Ezekre alapozva 1998 végén a Magyar Állami Földtani Intézet azt ajánlotta, hogy Bataapáti térségében kezdjék meg a részletes telephelyi jellemzést. Négyéves kutatási program eredményeként 2003-ra befejeződtek a felszínről végzett földtani kutatások. A földtani hatóság megállapította, hogy a telephely földtanilag alkalmas kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék elhelyezésére. Annak a közzétér fogatnak a kijelöléséhez, amelyet a hulladéktároló létesítmény és védőzónája kitölt, felszín alatti kutatásra volt szükség.

2004 októberére a felszín alatti kutatásokhoz szükséges, 1700 m hosszú, a felszín alá 250 m-re bevezető lejtőszaknak mélyítéséhez szükséges valamennyi engedélyt kiadták a szakhatóságok, és 2005 februárjában meg is kezdődtek a felszín alatti kutatások, amelyek az alkalmasnak minősített gránittömbön belül a leendő tároló helyének meghatározását célozták. Az elfogadott koncepció szerint a hulladék vízszintes tengelyű, nagy szelvényű

kamrákban lesz elhelyezve. A hulladékcsomagot vasbeton konténerbe helyezett kilenc darab 200 literes hordó alkotja, amelyeket cementtel töltenek ki.

2005 júliusában Bataapáti képviselőtestülete kezdeményezésére véleménynyilvánító népszavazást tartottak a községben, ahol a helyi lakosok 90,7%-a – 75%-os részvétel mellett – egyetértett a tároló megvalósításával a község területén. 2005. november 21-én az Országgyűlés a 85/2005. (XI. 23.) OGY határozatában előzetes elvi hozzájárulást adott a hulladéktároló létesítését előkészítő tevékenység megkezdéséhez.

A kutatási eredmények azt mutatták, hogy a tárolót Bataapáti területén meg lehet építeni, a felszín alatt 200–250 m mélyen, a tengerszint felett 0–50 m magasságban. A felszín alatti vágatrendszer a technológiai és a funkcionális igények alapján építési területre (a keleti lejtőszakna és annak csatlakozó részei) és ellenőrzött zónára (a nyugati lejtőszakna és annak csatlakozó részei) tagozódik (2. ábra).

A tároló létesítésének első fázisában, 2008-ban elkészültek a felszíni létesítmények, ideiglenes tárolási lehetőséget biztosítva a Paksi Atomerőmű szilárd hulladékainak egy része számára, mivel az atomerőmű tárolókapacitása szűkké vált. Az NRHT 2008. szeptember 25-én üzembe helyezési engedélyt kapott (amely kiterjedt a felszíni telephely üzemeltetésére). Ennek birtokában 2008. december 2-án a technológiai épületbe szállították az első tizenhat darab kis és közepes aktivitású atomerőműi eredetű radioaktív hulladékot tartalmazó hordót.

A Paksi Atomerőmű elhelyezendő kis és közepes aktivitású hulladékainak térfogata:

- az üzemvitelből és a 2003. évi üzemzavarból 15 724 m³
- a leszerelésből 27 044 m³.

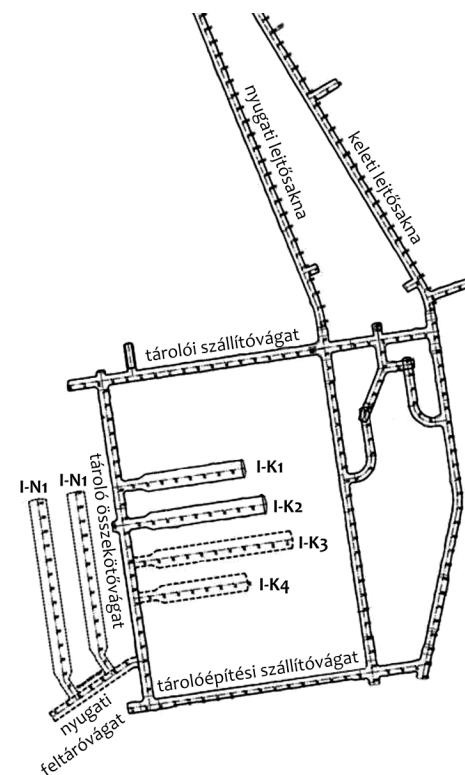
A leszerelési hulladék 80%-a nagyon kis aktivitású radioaktív hulladék, amelynek elhelyezéséről a következő években dönteni kell. Ennek a hulladékkategóriának a bevezetése 2020-ig várható.

2011 végéig elkészült az első két tárolókamra (I-K1 a technológiai rendszerekkel együtt, és az I-K2 térkiképzése). 2012-ben az engedélyező hatóság az NRHT eddig megvalósult részére, a felszíni létesítményekre és az I-K1 kamrára megadta az üzemeltetési engedélyt, amely 2012. szeptember 10-én jogerőssé vált. Az első vasbeton konténer leszállítására és végleges elhelyezésére ünnepélyes kezek között 2012. december 5-én került sor.

2015. december 31-én az NRHT-ban lévő 6280 hordó közül 4059 az I-K1 tárolókamrában volt, 451 vasbeton konténerben (3. ábra).

Az első tárolókamra üzembe vételével egyidejűleg indult az NRHT továbbépítésének megalapozása, egy olyan új tároló koncepciójának és elhelyezési rendszerének kidolgozása, illetve engedélyeztetése, amely lehetővé teszi minél több tárolótér kialakítását és a tárolókamrák minél hatékonyabb helykihasználását a rendelkezésre álló térrészben. Az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. és az RHK Kft. közös munkájának eredménye egy új típusú hulladékcsomag (négy hordót tartalmazó kompakt fémkonténer, folyékony hulladékkal készült cementtel az atomerőműben kitöltve), amelyet a növelt szelvényű tárolókamrákban kialakított vasbeton medencében helyeznek el. Elkészültek azok a megalapozó elemzések, műszaki tervek és biztonsági számítások, amelyek alapján az NRHT környezetvédelmi és létesítési engedélye módosításra került az új elhelyezési koncepció figyelembevételével.

Az NRHT továbbépítésének, bővítésének következő ütemében kerül sor az I-K3 és I-K4 kamrák kialakítására, és a kihajtott táro-



2. ábra • A Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló vágatrendszere



3. ábra • A Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló I-K1 tárolókamrájában véglegesen elhelyezett, radioaktív hulladékot tartalmazó vasbeton konténerek

lókamrákban (az I-K2-ben is) a vasbeton medence és a technológiai rendszerek kivitelezésére. Kiépül a 3. sz. vizsgálati kamra, amely a lezárási koncepció modellezéséhez szükséges, és a nyugati feltárási vágat, amely a nyugati oldalon a jövőben létesítendő kamrák tervezését készíti elő.

Az NRHT teljes kiépítése 2035-ig fejeződik be, bezárása 2081-2084 között várható, ezt hosszú távú felügyelet követi.

A fentieket összefoglalva megállapítható, hogy a nemzeti politikával összhangban az atomerőmű üzemeltetéséből és leszereléséből származó kis és közepes aktivitású radioaktív

hulladékok végleges elhelyezésére egy, a műszaki és biztonsági szempontoknak megfelelő létesítményben – a bátaapáti NRHT-ban – kerül sor. A létesítmény tervezését, méretezését, megvalósításának és üzemeltetésének időbeli ütemezését a Paksi Atomerőmű követelményeihez kell igazítani, és figyelembe kell venni tervezési szinten a tároló bővíthetőségét is.

Kulcsszavak: *radioaktív hulladék, Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló, Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló, Központi Nukleáris Pénzügyi Alap, hulladéksomag, végleges elhelyezés*

IRODALOM

Hegyháti József (2007): Radioaktív hulladékok kezelése és végleges elhelyezése. *Magyar Tudomány*. 167, 1, 27-30. • <http://www.matud.iif.hu/07jan/07.html>

Nős Bálint (2016): A kiégett üzemanyag kezelésének nemzeti programja. *Magyar Tudomány* (e cikkgyűjtemény 527. oldalán)



A KIÉGETT ÜZEMANYAG KEZELÉSÉNEK NEMZETI PROGRAMJA

Nős Bálint

stratégiai és műszaki igazgató,
Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft.
nos.balint@rhk.hu

Bevezetés

Az atomerőművekben megvalósuló atommaghasadáson alapuló villamosenergia-termelés egyik legnagyobb kihívása annak eldöntése, hogy mi legyen az energiatermelés során keletkező kiégett üzemanyag sorsa; más szóval milyen stratégiát válasszunk a nukleárisüzemanyag-ciklus zárására. A világban többféle megközelítésmód létezik. Vannak országok, amelyek a kiégett üzemanyagra mint energiaforrásra tekintenek, hiszen abból kinyerhető urán és plutónium oly módon, hogy abból további energiatermelésre alkalmas üzemanyagot állítsanak elő. Más országok a kiégett üzemanyag további feldolgozását nem tervezik, azt radioaktív hulladéknak – mégpedig nagy aktivitású hulladéknak – tekintik.

Nemzetközi szakmai konszenzus alakult ki a tekintetben, hogy a nagy aktivitású hulladékok végleges ártalmatlanításának módszerre a mélységi geológiai tárolóban történő végleges elhelyezés (OECD NEA, 2012). Ezzel a módszerrel biztosítható a jelen és a jövő generációk, valamint a környezet védelme; ami a radioaktív hulladék kezelése területén alkalmazott egyik legfontosabb alapelv. Fontos megjegyezni, hogy a nukleárisüzem-

anyag-ciklus zárásának akármelyik módját választja egy ország, mindenképpen marad vissza olyan nagy aktivitású vagy hosszú élettartamú hulladék, amelynek végleges elhelyezésére mélységi geológiai tárolóra van szükség (Greeneche et al., 2007).

A kiégett üzemanyag kezelési lehetőségeit vizsgálva nem szabad figyelmen kívül hagyni azt a tényt sem, hogy más forrásokból – atomerőművek üzemeltetése és leszerelése, radioaktív anyagok és sugárforrások orvosi, ipari, mezőgazdasági célú felhasználása – is keletkezik nagy aktivitású, illetve hosszú élettartamú radioaktív hulladék, amelyek végleges elhelyezését meg kell oldani.

A kiégett fűtőelemek és a radioaktív hulladékok felelősségteljes és biztonságos kezelését szolgáló közösségi keret létrehozásáról szóló, 2011. július 19-i 2011/70/Euratom tanácsi irányelv előírja, hogy a tagállamoknak a kiégett fűtőelemek és a radioaktív hulladékok kezelésére vonatkozóan nemzeti politikát kell kidolgozniuk és fenntartaniuk. A magyar Országgyűlés a fenti előírásnak megfelelően a kiégett üzemanyag és a radioaktív hulladék kezelésének nemzeti politikájáról szóló 21/2015. (V. 4.) OGY határozatával elfogadta a kiégett üzemanyag és a radioaktív hulladék kezelésének nemzeti politikájáról szóló doku-

mentumot. A nemzeti politika bemutatja a radioaktív hulladék és kiégett üzemanyag kezelése, valamint a nukleáris létesítmények leszerelése során alkalmazandó alapelveket, és rögzíti a nemzeti program peremfeltételeit.

E tanulmány a kiégett üzemanyag és a nagy aktivitású hulladékok keletkezését, azok kezelésére vonatkozó politikát, továbbá a politika megvalósítását célzó programot ismerteti.

Kiégett üzemanyag keletkezése Magyarországon

Magyarországon kiégett üzemanyag három létesítményben keletkezik: a Paksi Atomerőműben, a Magyar Tudományos Akadémia Energiatudományi Kutatóközpont által üzemeltetett kutatóreaktorban (a továbbiakban Budapesti Kutatóreaktor) és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézete által üzemeltetett oktatóreaktorban (a továbbiakban Oktatóreaktor).

A paksi telephelyen jelenleg négy, egyenként 500 MW villamos teljesítményű VVER-440 típusú atomerőművi blokk üzemel. A reaktorok aktív zónájában 349 üzemanyag-kazetta van. Ebből 312 munkakazetta, amelyek csak az energiatermelésben vesznek részt, a többi 37 ún. szabályozó és biztonságvédelmi kazetta, amelyek üzemanyag részből és elnyelő (abszorber) részből állnak. A jelenleg alkalmazott átrakási ciklusok szerint évente 84 kiégett kazettát távolítanak el a reaktorokból, és cserélik azokat frissekre. A Paksi Atomerőmű folyamatosan át fog térni a 12 hónapos átrakási ciklusról a 15 hónaposra, ennek következtében az évente keletkező kiégett kazetták száma csökkenni fog, átlagosan 81,6-ra. Ezt a fejlesztést is figyelembe véve a reaktorok meghosszabbított, ötvenéves üzemidejének végéig 17 716 kiégett kazetta (ez összesen 2126

t_{HM} nehézfémtömegnek felel meg) keletkezik, amelyek kezeléséről gondoskodni kell. A mai napig összesen 2361 kiégett – és 5 besugárzásra különböző okok miatt nem alkalmas, friss – üzemanyag-kazetta került visszazállításra Oroszországba (korábban a Szovjetunióba), olyan feltételekkel, hogy az azok feldolgozásából származó minden melléktermék Oroszországban marad.

A Budapesti Kutatóreaktorban 1959-es üzembe helyezése óta többfajta üzemanyagot használtak, amelyek egy része nagy (20%-nál magasabb) dúsítású, másik része kis dúsítású volt. Azon nemzetközi törekvésekkel összhangban, hogy a kutatóreaktorokban kizárólag kis dúsítású üzemanyagot alkalmazzanak, a kezdetben használt nagy dúsítású üzemanyagot, illetve a kis dúsítású üzemanyag egy részét 2008-ban és 2013-ban elszállították a gyártó országába, az Oroszországi Föderációba, amelyhez az Amerikai Egyesült Államok kormánya részbeni támogatást nyújtott. Az üzemanyag kiszállítása olyan feltételekkel történt, hogy annak feldolgozásából semmilyen másodlagos hulladék nem kerül vissza Magyarországra. A Budapesti Kutatóreaktor jelenleg 462 fűtőelemköteggel rendelkezik, ebből 76 kiégett, 190 a reaktorban van, 196 pedig felhasználásra vár. A referenciaként meghatározott leállítási időpontjáig (2023-ig) összesen 642 darab kiégett fűtőelemköteg keletkezésével kell számolni, ezek nehézfémtömege 141,24 kg.

A BME Oktatóreaktora 1971 óta üzemel. Az Oktatóreaktor könnyűvíz moderálású, medence típusú reaktor, jelenlegi engedélyezett maximális hőteljesítménye 100 kW. Aktív zónájában 24 darab 10%-os dúsítású EK-10 típusú fűtőelemköteg található, 30 kg urán-össztömeggel. A reaktorban üzemelő 24 fűtőelem-köteg, illetve a tartalékot jelentő 28

besugárzott kazetta mellett az Oktatóreaktor rendelkezik még 4 kazettának megfelelő mennyiségű friss üzemanyaggal is, amelyek kezeléséről gondoskodni kell.

Nagy aktivitású és hosszú élettartamú hulladékok keletkezése Magyarországon

Magyarországon két radioaktív hulladék-tároló üzemel; a Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló (a továbbiakban RHFT) Püspökszilágyban és a Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló (a továbbiakban NRHT) Bataapátiban. E tárolókat az országban keletkező kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére engedélyezték, az RHFT az intézményi eredetű, míg az NRHT a Paksi Atomerőműben képződő radioaktív hulladékokat fogadja (Kereki, 2016).

A Paksi Atomerőmű üzemeltetése során képződik olyan radioaktív hulladék, amelynek aktivitástartalma meghaladja az NRHT vonatkozó átvételi korlátját, ezért ott nem kerülhet végleges elhelyezésre. Az ilyen nagy aktivitású hulladékokat átmenetileg az atomerőmű területén, csökutakban tárolják. Az atomerőmű meghosszabbított, 50 éves üzemidejének végéig várhatóan kb. 220 m³ nagy aktivitású hulladék keletkezik (RHK, 2014).

A Paksi Atomerőmű majdani leszerelése és lebontása is eredményez olyan – hosszú élettartamú – hulladékot, amely nem helyezhető el az NRHT-ben. E hulladékok döntő hányadát a reaktor közelében található felaktiválódott, fémből készült szerkezeti anyagok teszik ki. A Paksi Atomerőmű előzetes leszerelési terve alapján e hulladékok várható mennyisége kevesebb mint 100 m³ lesz (MVM Paksi Atomerőmű, 2014).

A radioaktív anyagok intézményi felhasználása (ipar, mezőgazdaság, egészségügy,

oktatás, kutatás) során keletkezik olyan nagy aktivitású vagy hosszú élettartamú radioaktív hulladék, amely az RHFT-ben nem helyezhető el véglegesen. E hulladékok átmeneti tárolására az RHFT üzemi épületében helyiségeket alakítottak ki. Az intézményi eredetű, hosszú élettartamú hulladékok becsült mennyisége 300–500 m³-re tehető.

A nukleárisüzemanyag-ciklus zárására vonatkozó politika

A nukleárisüzemanyag-ciklus zárására vonatkozóan ma a nemzetközi gyakorlatban alapvetően két elképzelés létezik: a kiégett üzemanyag közvetlen elhelyezése (nyílt üzemanyagciklus), illetve valamilyen mértékű újrafeldolgozás (reprocessálás). A jelenleg már ipari méretekben folytatott részleges újrafeldolgozás során a további energiatermelésre alkalmas urán- és plutóniumizotópokat elválasztják, és a feldolgozás melléktermékeként nagy aktivitású és hosszú élettartamú hulladék marad vissza, amely azonban jelentősen kisebb térfogatú, mint a feldolgozás előtti kiégett üzemanyag. Kutatási szakaszban van a kiégett üzemanyag fejlettebb feldolgozási technológiájának kialakítása, amely a várakozások szerint az urán és a plutónium mellett a másodlagos aktinidák (neptúnium, amerícium, kúrium) többszörös újrahasznosítását is biztosítani tudja majd. A nukleárisüzemanyag-ciklus ilyen módon történő zárása intenzív, ma is folyó kutatások alapján előreláthatólag a 21. század második felében válhat ipari léptékben elérhetővé, valószínűleg negyedik generációs reaktorok alkalmazásával.

A fenti lehetőségeket figyelembe véve Magyarországon a nukleárisüzemanyag-ciklus zárására az energetikai reaktorokat illetően egy rugalmas, a nukleáris ipar fejlődésének követésére képes politikát fogadtak el, amely

a „mérlegelve haladj előre” elv („do and see”) elnevezést kapta. Felismerve azt, hogy a nukleárisüzemanyag-ciklus zárasi módjától függetlenül szükséges egy mélységi geológiai tároló létesítése, e politika biztosítja az ezen a területen történő előrehaladást. Tartalmazza a mérlegelés lehetőségét is, mert a mélységi geológiai tároló telephelyének kiválasztása több évtizedes folyamat. A telephely kutatását annak figyelembevételével kell elvégezni, hogy az egyes cikluszárai opciók esetén a mélységi geológiai tárolónak eltérő követelményeknek kell megfelelnie. Fontos szempont, hogy akármilyen megoldást is valósít meg az ország a jövőben a nukleárisüzemanyag-ciklus zárására, ahhoz biztosítani kell a megfelelő pénzügyi fedezetet. E követelménynek megfelelően a politika kijelöli a kiégett üzemanyag közvetlen elhelyezését mint referenciatorgatókönyvet, amely a költségbecslések alapját képezi, és amelyek alapján a Paksi Atomerőmű a befizetéseit teljesíti a Központi Nukleáris Pénzügyi Alapba.

A nem energetikai reaktorok nukleárisüzemanyag-ciklusának zárására egy másik lehetőség figyelembevételére is lehetőség nyílt a politika kialakításakor. A Budapesti Kutatóreaktor és az Oktatóreaktor kiégett fűtőelemeinek Oroszországba történő kiszállíthatóságának elvi lehetőségét az Oroszországi Föderáció kormánya és a Magyar Köztársaság kormánya között a kutatóreaktor kiégett fűtőelemeinek az Oroszországi Föderációba való szállításával kapcsolatos együttműködésről szóló egyezmény kihirdetéséről szóló 204/2008. (VIII. 19.) Korm. rendelet biztosítja. Az egyezmény 5. cikk (3) bekezdése értelmében a kiégett fűtőelemek feldolgozási folyamatának eredményeként keletkező feldolgozási termékek, köztük a visszanyert urán, plutónium és a radioaktív hulladékok nem

kerülnek vissza Magyarországra. Az üzemanyagciklus zárásának politikája a hazai, nem atomerőművi eredetű kiégett üzemanyagot illetően az, hogy hazánk él az Oroszországba való visszaszállítás lehetőségével.

A kiégett üzemanyag átmeneti tárolása

A kiégett üzemanyag több évtizedes átmeneti tárolása – annak ellenére, hogy az nem tekinthető végleges megoldásnak – fontos eleme az üzemanyagciklus záró szakaszának. Egyrészt azért, mert több évtizedes kutatási és létesítési folyamat szükséges ahhoz, hogy Magyarországon vagy a kiégett üzemanyag, vagy az újrafeldolgozás során keletkező nagy aktivitású és hosszú élettartamú hulladék elhelyezéséhez elengedhetetlenül szükséges mélységi geológiai tároló megvalósuljon, ami ezen anyagok kezelésének végleges megoldását jelenti. Másrészt az átmeneti tárolás lehetőségét ad arra, hogy a nukleárisüzemanyag-ciklus zárására vonatkozó politikával kapcsolatban a „mérlegelve haladj előre” elv alkalmazása mellett megalapozott döntés szülessen.

A Paksi Atomerőmű reaktoraiból eltávolított kiégett kazetták több évnél hűtést igényelnek, ami a reaktorok mellett elhelyezett pihentető medencékben, víz alatt történik. Ekkor már nem zajlik bennük nukleáris láncreakció, ám a radioaktív bomlások még eredményeznek hőfejlődést, ezért van szükség a vizes körülmények közötti hűtésre.

A kiégett üzemanyagot a pihentető medencékből történő eltávolítás után az atomerőmű szomszédságában elhelyezkedő átmeneti tárolóba, a Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolójába (a továbbiakban KKÁT) szállítják, ahol azt további ötven évig biztonságosan tárolják (1. kép).

A KKÁT meghatározott egységekből (ún. modulokból) felépülő, kamrás típusú létesít-



1. kép • A Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolója

mény, amelyben a kiégett üzemanyag száraz tárolása történik. A tároló felszíni épület, ahol a kiégett kazettákat egyenként függőleges helyzetű, vastag falú, hermetikusan zárt acélcsövekben helyezik el. A csövek betonfalakkal körülvett kamrákban állnak. A másfél méter vastagságú falakból álló betonkamra a sugárzás ellen megfelelő védelmet biztosít.

A tárolás száraz körülmények között történik, a termelődő hőt a levegő természetes huzathatásán alapuló passzív hűtési rendszer szállítja el, így elektromos vagy más műszaki hiba következtében sem kell tartani a hűtés megszűnésétől. A hűtőlevegő a tárolócsövek között áramlik, így a – semleges (nitrogén) gázkörnyezetben – tárolt kazettákkal közvetlenül nem érintkezik.

A kiégett kazetták legalább ötven éves tárolására kialakított kamrák egységeit modulárisan lehet bővíteni, így az atomerőműben keletkező kiégett üzemanyag fogadására mindig van megfelelő tárolókapacitás. A KKÁT jelenleg húsz kamrát tartalmaz, ami 9308 tárolóhelyet jelent. A létesítményben eddig

8347 db kiégett kazetta biztonságos átmeneti tárolása valósult meg.

A mélységi geológiai tároló telephely kutatása, kialakítása

A kiégett üzemanyag és nagy aktivitású hulladék kezelésének nemzetközileg elfogadott végső lépése a mélységi geológiai tárolóban történő végleges elhelyezés. Magyarországon az ezt a célt szolgáló telephely kutatása nagyon előrehaladott fázisba került az 1980-as évek végén azáltal, hogy a mecseki uránbánya vágatrendszerének kihajtása során egy ilyen létesítmény telepítésére potenciálisan alkalmasnak tűnő kőzettípust találtak.

A nagy aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére irányuló kutatási program 1993 végén a Nemzeti Projekt keretében – a Bodai Agyagkő Formáció (a továbbiakban: BAF) vizsgálatával – kezdődött, majd annak 1995 márciusában történő befejeződése után önálló kutatási program keretében folytatódott. Ennek középpontjában (1996–1998 között) a BAF-ban kialakított föld alatti labo-

ratóriumban végzett vizsgálatok álltak. Az uránbánya bezárására vonatkozó kormányzati döntés következtében a bányából megközelíthető föld alatti laboratóriumot 1998 végén bezárták. Az akkori zárójelentés szerint nem merült fel olyan körülmény, amely a nagy aktivitású radioaktív hulladékok BAF-ban történő végleges elhelyezése ellen szólna (RHK, 2014).

A kialakult helyzetben, 2000-ben egy – az ország teljes területére kiterjedő – földtani pásztázó kutatást (screening) bonyolítottak le. A vizsgálati eredmények alapján továbbra is a BAF bizonyult a nagy aktivitású hulladéktároló egyik legígéretesebb befogadó közétének.

A fenti eredmények alapján 2004-ben indult újra a BAF kutatása, immár a felszínről. Ezt tekintik az I. felszíni kutatási fázis 1. szakaszának. Az első két év intenzív munkája után a kutatás finanszírozási nehézségek miatt félbeszakadt. Időközben elkészült az elhelyezési rendszert bemutató koncepcióterv (Takáts et al., 2004) és annak egyszerűsített biztonsági értékelése (Dankó et al., 2005).

Az elhelyezési rendszer koncepciójának kialakításakor a nemzetközi gyakorlatnak megfelelően a többszörös gátrendszer elvét alkalmazták. Ennek első elemeit maga a kiégett kazetta képezi, amelynél figyelembe lehet venni az üzemanyagmátrixot, valamint a pálcaburkolatot a radioaktív izotópok visszatartásában. A tárolórendszer lezárását követő akár tízezer vagy százezer éves időléptékben is mértékadó szerepet játszik a kiégett üzemanyagot befogadó tok a biztonság szavatolásában. A tok két alapvető alkotórészből áll: az öntöttvas betétből és a külső rézburkolatból. A belső rész úgy van kialakítva, hogy a kazettákat könnyen bele lehessen helyezni, a rézburkolat szerepe a korrózióállóság bizto-

sításával a hosszú távú izoláció (Takáts et al., 2004). Az elhelyező tokokat befogadó fúrólyukakban maradó üres tereket a tervek szerint bentonittal töltik ki, ez a radioaktív izotópok visszatartásán túl a tokok védelmét is biztosítja. A mélységi geológiai elhelyezés esetén a hosszú távú biztonság garantálásában a legfontosabb szerepet maga a befogadó közet játssza. A tárolót olyan stabil kőzetkörnyezetben kell kialakítani, ahol a felszín alatti vizek felszínre érése elegendő hosszú ahhoz, hogy a leginkább mobilis izotópok is csak elenyésző mértékben érjék el a bioszférát.

A befogadó telephellyel és kőzetkörnyezettel kapcsolatos szigorú követelményeknek való megfelelés igazolása az előrehaladott programokat felmutató országok (Franciaország, Finnország, Svédország) példája alapján több évtizedes komplex kutatás-fejlesztési és demonstrációs tevékenység végrehajtását igényli. Magyarországon az I. felszíni kutatási fázis 1. szakaszának folytatásaként 2013-ban megkezdődött annak 2. szakasza. Ez a fázis egy átfogó kutatási program részeként valósul meg, amelynek középtávú célja a BAF általános megismerése, a potenciálisan alkalmas térrész fokozatos szűkítése, majd egy felszín alatti kutatólaboratórium kialakítása. A jelenlegi ütemezés szerint a laboratórium a 2030-as évek elején készülhet el, majd az ebben lefolytatott felszín alatti kutatási program végrehajtása után a tároló létesítésére a 2050-es évek közepén nyílna lehetőség. Ez az időütemezés – összhangban a nemzetközi tapasztalatokkal – még hosszú ideig lehetővé teszi a nukleárisüzemanyag-ciklus zárására vonatkozó végleges döntéssel kapcsolatos mérlegelést. Hangsúlyozni kell azonban azt is, hogy annak érdekében, hogy ez az ütemezés tartható legyen, előre kell haladni a felszín

alatti kutatólaboratórium helyszínének kijelölését célzó telephely kutatásával, hogy minden kétséget kizáróan igazolni lehessen a telephely és a befogadó közet alkalmasságát egy majdani mélységi tároló kialakítására.

IRODALOM

- Dankó Gyula et al. (2005): „A magyarországi nagy aktivitású és hosszú élettartamú radioaktív hulladékok, valamint kiégett üzemanyagkazetták geológiai tárolóban való elhelyezésére alkalmas térrész vagy térrészek, illetve az elhelyezés lehetőségét vizsgáló földalatti kutató laboratórium helyének kijelölésével kapcsolatos munkálatok” keretében elvégzett egyszerűsített biztonsági értékelés.
- Greneche, Dominique et al. (2007): *RED-IMPACT. Impact of Partitioning and Transmutation and Waste Reduction Technologies on the Final Nuclear Waste Disposal; Synthesis Report.* • https://www.researchgate.net/profile/M_Rossbach/publication/30049162_RED-IMPACT_Impact_of_Partitioning_Transmutation_and_Waste_Reduction_Technologies_on_the_Final_Nuclear_Waste_Disposal/links/54cf25fa0cf298d65662e424.pdf?origin=publication_detail

Kulcsszavak: *kiégett üzemanyag, nemzeti program, nukleárisüzemanyag-ciklus zárása, Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolója, mélységi geológiai tároló, Bodai Agyagkő Formáció, többszörös gátrendszer*

- Kereki Ferenc (2016): Radioaktív hulladékok magyarországi kezelése és elhelyezése. *Magyar Tudomány.* (e cikkgyűjtemény 518. oldalán)
- MVM Paksi Atomerőmű Zrt. (2014): *A PAE I-4 blokk leszerelési terve.*
- OECD NEA (2012): *Geological Disposal of Radioactive Waste: National Commitment, Local and Regional Involvement.* NEA No. 7082. Nuclear Energy Agency • <https://www.oecd-neo.org/rwm/reports/2012/7082-geo-disposal-statement.pdf>
- RHK Kft. (2014): *14. Közép- és hosszú távú terv a Központi Nukleáris Pénzügyi Alapból finanszírozandó tevékenységekre.*
- Takáts Ferenc et al. (2004): *A magyarországi nagy aktivitású és hosszú élettartamú radioaktív hulladékok, valamint kiégett üzemanyag-kazetták végleges elhelyezését biztosító mélygeológiai hulladéktároló koncepcióterve és költségbecslése.* TS (R) 6/25 Rev. 1.



A KIÉGETT ÜZEMANYAG JELLEMZŐI ÉS FELDOLGOZÁSA

Hózer Zoltán

PhD, MTA Energiatudományi Kutatóközpont
hozer.zoltan@energia.mta.hu

Bevezetés

A paksi reaktorok kiégett üzemanyagának hasznosítási lehetőségeiről a közelmúltban készített tanulmány szerint a jelenleg üzemelő négy blokk meghosszabbított üzemidejének lejártakor 2200 t kiégett üzemanyag marad hátra (Brolly et al., 2013). Ennek feldolgozása-
kor kinyerhető annyi plutónium és urán, amennyiből 237 t MOX (*Mixed-Oxide*) és 288 t REPUOX (*Reprocessed Uranium Oxide*) típusú üzemanyag állítható elő. A reprocessálásból származó több mint 500 t üzemanyaggal egy 1200 MW elektromos teljesítményű reaktort kb. 30 évig lehetne üzemeltetni.

A példa jól szemlélteti, hogy milyen komoly haszna lehet a kiégett nukleáris üzemanyag feldolgozásának. Tanulmányunkban röviden áttekintjük a kiégett üzemanyag jellemzőit, bemutatjuk a technológiákat, amelyek lehetővé teszik az újrahasznosítást, és foglalkozunk az újrafeldolgozás időpontjának optimalizálásával is.

A kiégett üzemanyag néhány jellemzője

Az atomerőművi reaktorok többsége UO_2 üzemanyaggal működik. A hasadóképes ^{235}U izotóp jellemző kezdeti dúsítása 3–5%, a friss üzemanyag urántartalmának 95–97%-át az ^{238}U izotóp adja. Az atomreaktorban végbe-

menő magfizikai folyamatok következtében az üzemanyag összetétele jelentősen átalakul. A láncreakció során az elhasadó atommagokból hasadási termékek keletkeznek, amelyek között vannak radioaktív és stabil izotópok is. Az ^{238}U -ból neutronbefogással transzúrán elemek képződnek, ezek közül a legnagyobb mennyiségben a plutónium jelenik meg, aminek vannak hasadóképes izotópjai is. A kiégett üzemanyag végleges elhelyezése szempontjából fontos egyéb, ún. másodlagos aktinidák (neptúnium, amerícium és kúrium) további magreakciókkal jönnek létre.

Egy 2100 kWh/kgU kiégésű üzemanyag tömegének 93%-át az urán teszi ki (1. ábra). Ennek ^{235}U -tartalma valamivel magasabb, mint a természetes uráné. A plutónium tömege 1,9%, míg a másodlagos aktinidák tömege mindössze 0,1%-ot tesz ki. A hasadási termékek részaránya 5%, ebből 3,9% stabil izotóp.

A kiégett üzemanyag erősen radioaktív, így tárolásakor és szállításakor sugárvédelmi árnyékolás szükséges. A radioaktív izotópok bomlása hőt termel, ezért a kiégett kazetták kezelésekor gondoskodni kell a maradványhő folyamatos elviteléről is.

A kiégett tablettákban a periódusos rendszer nagyon sok eleme megjelenik. Heterogén összetétel és szerkezet alakul ki az üzemanyagban. A hasadási termékek és aktinidák kü-

lönböző halmazállapotban és kémiai formában fordulnak elő. Vannak gáznemű hasadási termékek, mások fémes zárványokat vagy oxidokat képeznek, és vannak elemek, amelyek beépülnek az UO_2 kristályrácsba az elhasadt uránatom helyére.

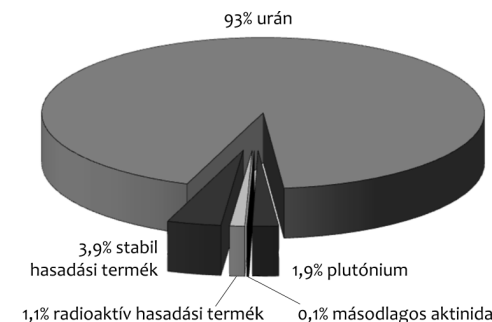
A kiégett üzemanyag tárolása során tovább változik az összetétel. A rövid felezési idejű izotópok részaránya csökken, és ezzel együtt folyamatosan csökken az üzemanyag aktivitása és a maradványhő is.

A kiégett üzemanyag radiotoxicitásában (potenciális egészségkárosító hatásában) a reaktor leállása után a radioaktív hasadási termékek dominálnak. Ötven éves tárolás után a hasadási termékek részaránya már csak 20%. Több száz év után, a nagyon hosszú felezési idejű alfa-sugárzó transzúrán izotópok mellett a hasadási termékek a radiotoxicitásnak kevesebb mint 1%-át adják. Több ezer éves tárolás után a plutónium jelenti a legnagyobb potenciális egészségkárosító hatást a kiégett üzemanyagban.

A kiégett üzemanyag feldolgozásának előnyei, az előállítható üzemanyagok

A kiégett nukleáris üzemanyag feldolgozását alapvetően két szempont motiválja: egyrészt a kiégett üzemanyagban található, jelentős mennyiségű hasadóképes radioizotóp hasznosítása energiatermelésre atomreaktorokban (ezzel csökken a természetes urán felhasználása is), másrészt a végleges elhelyezésre kerülő radioaktív hulladékok mennyiségének, aktivitásának és radiotoxicitásának csökkentése.

A reprocessálásból visszamaradó hulladék erősen radioaktív. Ezt a hulladékot vitrifikálják, azaz olvadt üveggel keverik össze. Az üveg sokkal korrózióállóbb, mint a kazetták fémhöz készült szerkezeti elemei, így nagyon tartós védelmi gátat jelent a radioaktív



I. ábra • 50 MWnap/kgU kiégésű üzemanyag összetétele

izotópok környezetbe jutása ellen. Az céltartályokban elhelyezett vitrifikált hulladék gyakorlatilag nem jelent veszélyt a környezetre. A reprocessálás után szétválasztott anyagokból többféle üzemanyagot is lehet gyártani.

Az elválasztott uránból REPUOX-üzemanyag készíthető, amelynek hasadóanyaga az ^{235}U izotóp. Az elválasztás után az ^{235}U koncentrációját dúsított urán hozzáadásával kell javítani, hogy elérjük a reaktorban szükséges hasadóanyag-koncentrációt. A feldolgozott uránban megjelennek olyan izotópok is, amelyek nem találhatók a természetes uránban. A hatvankilenc év felezési idejű ^{232}U izotóp bomlásakor keménységgamma-sugárzó izotópok keletkeznek, ezért ez az üzemanyag sugárvédelmi szempontból különleges kezelést igényelhet. A REPUOX üzemanyagban megjelenő ^{236}U izotóp neutronelnyelő tulajdonságát a hasadóképes ^{235}U izotóp mennyiségének növelésével kell kompenzálni.

Az elválasztás során külön megjelenő plutóniumból MOX-üzemanyagot lehet gyártani a természetes urán dúsításából visszamaradt szegényített urán hozzáadásával. A nyomottvízes reaktorok MOX üzemanyagában a plutóniumtartalom 10% alatt van, míg a gyorsreaktorokban közel 20%-os plutónium-

tartalom szükséges. A ^{239}Pu és ^{241}Pu izotópok adják a MOX-üzemanyag hasadóanyagát, de a feldolgozott üzemanyagból származó plutóniumban több páros tömegszámú izotóp is megjelenik. A 14 év felezési idejű ^{241}Pu izotópból ^{241}Am keletkezik, ezért a MOX-üzemanyagot nem célszerű hosszú ideig tárolni.

Az orosz üzemanyag-szállító REMIX néven egy olyan üzemanyag kifejlesztését tervezi, amelyben a reprocessálásból származó urán és plutónium együtt jelenik meg (Fedorov et al., 2015). A REMIX-üzemanyag gyártásához is szükség van dúsított uránra, amit hozzákevernek az elválasztásból származó urán-plutónium keverékhez.

Gyorsreaktorokhoz fel lehet használni a kiégett üzemanyag másodlagos aktinida (MA) tartalmát is (IAEA, 2009; IAEA, 2010). Az MA-tartalmú – jelenleg fejlesztés alatt álló – üzemanyagban a reprocessálásból származó U, Pu, Am és Np együtt jelenik meg oxidok formájában.

A jelenleg elterjedten használt oxid üzemanyag mellett a gyorsreaktorokhoz és a bal-esetálló üzemanyag kifejlesztéséhez számos egyéb összetételt is vizsgálnak a kutatók. Ezek közé tartoznak a nitridek, karbidok, szilicidok és a fém- és kerámiaalapú inert mátrix tableták is. Meg kell említeni, hogy ezek az anyagok nem feltétlenül reprocessálhatóak az oxidokhoz kifejlesztett technológiákkal. A nitridek nem oldódnak salétromsavban, csak folyósavban, aminek ipari mennyiségű előállítása komoly kihívást jelent. A karbidok salétromsavas oldódásakor pedig szerves uránvegyületek keletkeznek, amelyek speciális elválasztást igényelnek.

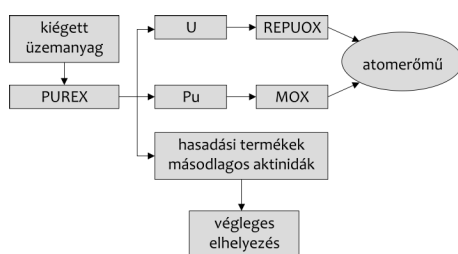
Reprocessálási technológiák

A kiégett üzemanyag feldolgozására először a II. világháborúban, az atombomba gyártásá-

hoz hozták létre egy bizmut-foszfátos eljárást, amellyel a plutóniumot ki lehetett nyerni. A jelenleg elterjedt és ipari méretekben használt PUREX- (*Plutonium and Uranium Recovery by Extraction*) eljárás ennek a továbbfejlesztésével jött létre. A PUREX-eljárásban az üzemanyag salétromsavas oldása után tributilfoszfát hozzáadásával különítik el az uránt és a plutóniumot. A visszamaradó hulladékban a hasadási termékek mellett megtalálhatóak a másodlagos aktinidák is (2. ábra).

A PUREX-technológiával csak több éves pihentetés után lehet feldolgozni a kiégett üzemanyagot, mivel a szerves oldószerek nem eléggé sugárállóak. Az eljárás hátrányai között szokták említeni, hogy az atombomba előállítására is alkalmas Pu elkülönülve jelenik meg, ami proliferációs kockázatot jelent.

A PUREX-eljárás alkalmas a MOX-üzemanyag reprocessálására is. A MOX többszörös feldolgozására jelenleg azért nem kerül sor, mert a termikus reaktorokban a plutóniumizotópok részarányai reaktorfizikai szempontból kedvezőtlenül változnak, a kiégettséggel csökken a hasznosítható hasadóképes izotópok részaránya. A gyorsreaktorok esetében nincs akadálya az üzemanyag ciklikus feldolgozásának. Orosz szakemberek szerint a REMIX-üzemanyag ciklikus feldolgozása termikus reaktorokkal is megoldható, mivel az alacsony plutóniumtartalom miatt az izo-



2. ábra • Reprocessálás PUREX-eljárással

tópösszetétel nem változik olyan kedvezőtlenül, mint a MOX esetében.

Az üzemanyag feldolgozására pirometallurgiai módszereket is lehet használni. Ilyenkor magas hőmérsékletű sóolvadékokban oldják fel az üzemanyagot. Az olvadék elektrolízisekor a fémek kiválnak az elektródokon. Ezzel a módszerrel nagy tisztaságú plutóniumot nem lehet előállítani, a másodlagos aktinidák egy része a plutóniummal együtt válik ki. Ez proliferációs szempontból nem kedvezőtlen, mert így nem keletkezik olyan, könnyen kezelhető plutónium, amelyből atombombát lehetne készíteni. A pirometallurgiai eljárásokban nincs olyan szerves oldószerek, ami korlátozná a kiégett üzemanyag aktivitását, így az üzemanyag rövid pihentetés után is feldolgozható. A pirometallurgiai módszer kompakt berendezéseket használ, amelyek közvetlenül erőművek mellé is telepíthetőek (ilyen megoldást terveznek például az új, ölműhűtésű orosz gyorsreaktorokhoz).

Újrafeldolgozás jelenleg

A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség nyilvántartása szerint atomerőművekben eddig 380 500 t kiégett üzemanyag keletkezett (IAEA, 2015). A tárolókban található kiégett üzemanyag mennyisége 258 700 t. A két tömeg különbsége adja az eddig feldolgozott üzemanyag mennyiségét, ami közel harmada a teljes keletkezett mennyiségnek.

A világon működő összes atomerőműben évente kb. 10 000 t kiégett üzemanyag keletkezik. A francia, indiai, japán, orosz és angol reprocessáló üzemek összteljesítménye évi 4800 t, a tényleges feldolgozás évi kb. 3000 t.

Egy nemzetközi szakértői csoport összefoglaló tanulmányt készített arról, hogy milyen lehetőségek vannak a közép-kelet-európai atomerőművekben keletkező kiégett

kazetták kezelésére (Hózer et al., 2015). A kiégett üzemanyag feldolgozására Franciaországban és Oroszországban lenne lehetőség.

A franciaországi La Hague telephelyen 1976 óta üzemel reprocessáló üzem PUREX-technológiával. Az újrafeldolgozás során keletkező MOX-üzemanyaggal 21 reaktort látnak el, míg REPUOX-kazettákkal négy reaktor működik. A hulladékot vitrifikálják, és olyan tartályokba töltik, amelyek megfelelnek a végleges elhelyezés követelményeinek is.

Az orosz Majak üzem 1977 óta működik, ugyancsak PUREX-technológiával. Itt dolgozzák fel a VVER-440, BN-350 és BN-600 atomerőművi reaktorok, valamint atomjegtörők és számos kutatóreaktor üzemanyagát is. A kinyert uránból REPUOX-üzemanyag készül az RBMK-1000 reaktorok fűtőelemeihez. A plutónium egy részét az üzemelő gyorsreaktorok MOX-üzemanyagához használják fel. A plutónium másik részét tárolják a később építendő gyorsreaktorok indításához. Termikus reaktorokhoz nem gyártanak MOX-üzemanyagot, de tervezik a REMIX bevezetését. A hulladékot az oroszok is vitrifikálják. A VVER-1000 reaktorok kiégett üzemanyagának feldolgozását 2020 után egy új telephelyen fogják megkezdeni. Itt tudják majd fogadni a Pakson épülő VVER-1200 reaktorok kiégett üzemanyagát is.

Újrafeldolgozás a jövőben

A gyorsreaktorok széles körű elterjedésével lehetővé válik az üzemanyagciklus zárása (Gadó, 2015; Szieberth, 2015). Ehhez azonban nemcsak új reaktorok kellenek, hanem a PUREX-eljárásnál fejlettebb reprocessálási technológia is szükséges.

Az ún. fejlett újrafeldolgozás elsősorban abban különbözik a PUREX-technológiától, hogy az üzemanyag kémiai elválasztása sokkal

több elemcsoportra valósul meg. A fejlett újrafeldolgozási eljárás egyes lépéseinek optimális megvalósításával több nemzetközi projekt is foglalkozik (Bourg et al., 2012). A fejlett újrafeldolgozás lehetővé teszi olyan üzemanyag gyártását a gyorsreaktorok számára, amelyben az urán és a plutónium mellett a másodlagos aktinidák is megtalálhatóak (3. ábra). A jelenleg laboratóriumi fejlesztés alatt álló eljárásokkal szemben – proliferációs megfontolásokból – elvárás, hogy ne keletkezzen tiszta plutónium a folyamat során. Ezért célszerű a plutóniumot és az erősen sugárzó izotópokat tartalmazó másodlagos aktinidákat közös csoportban előállítani. A távlati célok között megjelenik a nagyon hosszú felezési idejű hasadási termékek (^{129}I [felezési idő: 10^7 év], ^{93}Zr [$1,6 \cdot 10^6$ év], ^{99}Tc [$2 \cdot 10^5$ év]), a nagy hőfejlődést okozó hasadási termékek (^{90}Sr és ^{137}Cs) és egyes hasznosítható anyagok (például palládium) elkülönítése is.

Az újrafeldolgozás időzítése

A kiégett üzemanyag feldolgozásának megkezdése előtt számos műszaki, gazdasági, környezetvédelmi és egyéb, távlati szempontot kell mérlegelni.

A feldolgozás alapvető műszaki feltétele, hogy megfelelő reprocesszási kapacitás álljon rendelkezésre. Kisebb országoknak nem érdemes saját reprocesszási üzemeltetést létesíteniük. A külföldi partnerek kapacitása és feldol-

gozási ajánlatai alapján el lehet dönteni, hogy érdemes-e megkezdni a kiégett üzemanyag újrafeldolgozását, amelynek megkezdését motiválhatja, ha az adott országban van a reprocesszálsból származó üzemanyag befogadására alkalmas erőművi blokk.

A kiégett üzemanyag reprocesszálása fontos a radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére vonatkozó stratégia szempontjából is. A feldolgozással a radioaktív hulladék mennyisége és radiotoxicitása jelentősen csökken.

A műszaki szempontok között – elsősorban a reprocesszálo üzemig történő szállítás megalapozásához – fontos tényező lehet a kazetták pihentetési ideje, illetve a maradványhő mértéke. Az átmeneti tárolók kapacitásának kialakításakor is figyelembe kell venni a kiégett kazetták reprocesszálásának tervezett menetrendjét.

Több erőművi blokkot üzemeltető országokban – így hazánkban is – célszerű egységes megoldást találni a kiégett kazetták kezelésére. A keletkezett kiégett kazetták egy részének feldolgozása azzal járna, hogy mind a reprocesszálást, mind a közvetlen végleges elhelyezést meg kellene valósítani.

Hosszú távon figyelembe kell venni az atomenergetika jövőjét, a villamos energia termelésében várható szerepét. Az új típusú (gyorsreaktoros) erőművek üzembe helyezése és a fejlett újrafeldolgozási technológiák ipari léptékű rendelkezésre állása fontos érv lehet a reprocesszáls megkezdésében. A természetes uránkészletek csökkenésével (ami a mai tendenciákat tekintve 100–300 év múlva válhat érezhetővé) felértékelődhet a kiégett kazetták hasadóanyag-tartalma, és gazdasági szempontból is előnyös lehet a reprocesszáls.

A kiégett üzemanyag reprocesszálásának gyors – néhány évvel a kirakás után történő – megkezdésével kisebb átmeneti tárolókapac-

itások válnak szükségessé. Ha a feldolgozás a jelenlegi technológiákkal történik, akkor a másodlagos aktinidák benne maradnak a hulladékban, ami a végleges elhelyezés szempontjából nem kedvező. A ciklikus újrafeldolgozásnak a jelenlegi erőművekkel komoly korlátai vannak, hiszen a MOX-üzemanyag többszörös reprocesszálását nem érdemes megvalósítani, így a kiégett MOX-üzemanyag közvetlen végleges elhelyezésre kerül.

Ha a feldolgozás később – évtizedekkel a kirakás után – kezdődik, akkor jelentős átmeneti tárolókapacitásokat kell létesíteni vagy bérelni, ha erre külföldön lehetőség adódik. A későbbi feldolgozáshoz már elképzelhető, hogy a fejlett újrafeldolgozási technológiát lehet igénybe venni, amellyel elkerülhető a másodlagos aktinidák bekerülése a radioaktív hulladékba. Végül a későbbi feldolgozáskor már rendelkezésre állhatnak gyorsreaktorok, amelyekben sokkal több hasadóanyag keletkezik, mint a termikus reaktorokban, és amelyekhez a ciklikus újrafeldolgozás korlátozás nélkül megvalósítható.

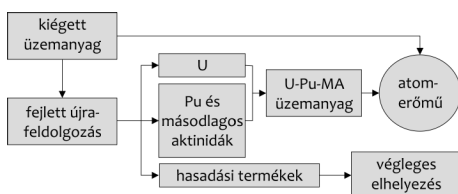
A kiégett üzemanyag reprocesszálását természetesen pénzügyi elemzéseknek is meg kell előzniük. A közvetlen elhelyezés költségeit össze kell vetni az újrafeldolgozás költségeivel. Az OECD nemrég kiadott tanulmánya szerint a kiégett üzemanyag kezelésének költségei alacsonyabbak, ha a kazetták közvet-

len végleges elhelyezésére kerül sor (OECD, 2013). Ha azonban a teljes üzemanyagciklus költségeit nézzük (beleértve az új üzemanyag előállítását is), akkor alig van különbség a közvetlen elhelyezés és a reprocesszáls költségei között. Tehát azokban az országokban, ahol hosszú távon számolnak az atomenergia hasznosításával, érdemes megfontolni az újrahasznosítást, míg azokban az országokban, ahol az atomerőművek leállításáról döntöttek, célszerűbb a közvetlen elhelyezést megvalósítani.

Következtetések

A kiégett üzemanyag jelentős mennyiségű hasadóanyagot tartalmaz, ami – megfelelő feldolgozás után – hasznosítható az atomreaktorokban. A kiégett kazetták újrafeldolgozásával nemcsak új üzemanyag készül, de csökken a radioaktív hulladék mennyisége is. A reprocesszáls évtizedek óta ipari léptékben működik, további fejlesztések jelenleg is folynak. A kiégett üzemanyag újrahasznosításának tervezésekor távlati szempontokat is figyelembe kell venni, különös tekintettel a gyorsreaktorok elterjedésére és a fejlett újrafeldolgozási technológia ipari mértékű megvalósítására.

Kulcsszavak: nukleáris üzemanyag, reprocesszáls, radioaktív hulladék



3. ábra • Reprocesszáls fejlett újrafeldolgozással

HIVATKOZÁSOK

- Bourg, Stéphane – Poinsot, Ch. – Geist, A. – Cassayr, L. – Rhodes, Ch. – Ekberg, Ch. (2012): Advanced Reprocessing Developments in Europe Status on European projects ACSEPT and ACTINET-I3. *Procedia Chemistry*. 7, 166–171. DOI: 10.1016/j.proche.2012.10.028 • <http://tinyurl.com/jfhe04g>
- Brolly Áron – Hózer Z. – Szabó P. (2013): A Paksi Atomerőműből származó kiégett üzemanyag hasznosítási lehetőségei, *Nukleon*. VI, 1, 128, 1–5. • <http://tinyurl.com/h95xxmo>

- Fedorov, Yuriy S. – Kryukov, O. V. – Khaperskaya, A. V. (2015): *Multiple Recycle of REMIX Fuel Based on Reprocessed Uranium and Plutonium Mixture in Thermal Reactors*. International Conference on Spent Fuel Management. 15–19 June 2015, Vienna
- Gadó János (2016): Gyorsreaktorok az üzemanyagciklusban. *Magyar Tudomány*. e cikkgyűjtemény 552. oldalán
- Hózer Zoltán – Borovitskiy, S. – Buday G. – Boullis, B. – Cognet, B. – Delichatsios, S. A. – Gadó J. – Grishin, A. – Kaluzny, Y. – Leboucher, I. – Nős B.

- Ochem, D. – Pazdera, F. – Spitsin, A. (2015): Regional Strategies Concerning Nuclear Fuel Cycle and HLRW in Central and Eastern European Countries. *Management of Spent Nuclear Fuel from Nuclear Power Reactors*. IAEA, 22–30.
- IAEA (2009): *Status of Minor Actinide Fuel Development*, NF-T-4.6 • <http://tinyurl.com/gmryvwc>
- IAEA (2010): *Assessment of Partitioning Process for Transmutation of Actinides*, IAEA-TECDOC-1648 • <http://tinyurl.com/hdzk9vy>

- IAEA (2015): *Nuclear Technology Review*, GC(59)/INF/2 • https://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC59/GC59InfDocuments/English/gc59inf-2_en.pdf
- OECD (2013): *The Economics of the Back End of the Nuclear Fuel Cycle*. NEA No. 7061 • <http://www.oecd-neo.org/ndd/pubs/2013/7061-ebenfc.pdf>
- Szieberth Máté (2015): A nukleárisüzemanyag-ciklus zárásának lehetőségei. *Magyar Tudomány*. e cikk-gyűjtemény 541. oldalán



A NUKLEÁRISÜZEMANYAG-CIKLUS ZÁRÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI

Szieberth Máté

PhD, egyetemi docens,
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézet
szieberth@reak.bme.hu

Napjainkban társadalmilag egyre elfogadottabb az a nézet, amely megengedhetetlennek minősíti, hogy a jelenkor embere a jövő generációk rovására gazdálkodjon a rendelkezésre álló természeti erőforrásokkal. A fenn tartható fejlődés elve – vagyis, hogy a jövő generációinak igényeit a jelenkorban fellépőkkel azonos mértékben vegyük figyelembe – alapjaiban befolyásolja az energetikát mint a természeti erőforrások hasznosítására épülő iparágat.

Habár az atomerőművek ma biztonságosan és káros anyagok kibocsátása nélkül képesek a szükséges mennyiségben és minőségben villamos energiát előállítani, a fenntartható fejlődés szempontjából hosszú távon az egész üzemanyagciklust kell vizsgálnunk. Ezen belül kritikus pont a kiégett üzemanyag kezelése és elhelyezése. A XXI. század atomerőműveinek szánt ún. negyedik generációs atomerőmű-típusok kifejlesztését célzó Generation IV International Forum (GIF) által meghatározott fenntarthatósági kritériumok ezt a kérdéskört két ponton érintik:

A hosszú felezési idejű, nagy aktivitású hulladékok végleges elhelyezését olyan módon kell megoldani, hogy az az eljövendő – a megtermelt energiából már nem részesedő – generációkat ne veszélyeztesse.

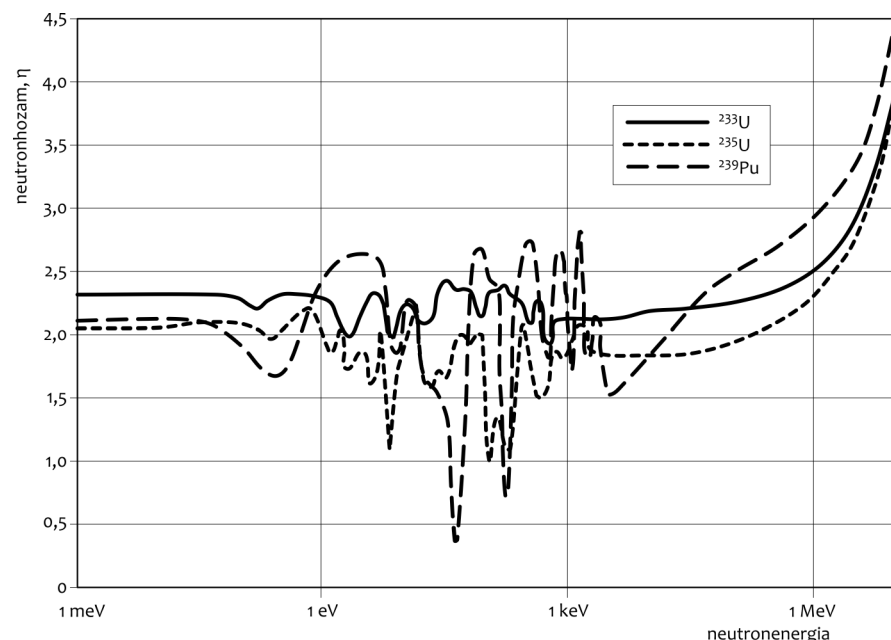
A természeti erőforrások hasznosításánál törekedni kell a lehető legjobb hatásfokra. Ezért a kiégett üzemanyag kezelésénél fontos szempont, hogy a benne található – atomreaktorokban hasznosítható – hasadó- és tenyészanyagok később felhasználhatóak legyenek.

Ez a cikk a fenti szempontokat is szem előtt tartva tekinti át a kiégett nukleáris üzemanyagok kezelésére és újrahasznosítására, vagyis a nukleáris üzemanyagciklus zárására szóba jöhető alternatívákat.

Az üzemanyag besugárzása közben zajló folyamatok

Az atomreaktorba helyezett üzemanyagban a neutronbesugárzás hatására magreakciók zajlanak, és ezek eredményeképpen új izotópok, anyagok alakulnak ki. Az üzemanyagban található izotópok közül megkülönböztetjük a *hasadóanyagokat* (például: ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu).¹ Ezek hasadása során a kisebb tömegű hasadási termékek széles köre keletkezik. A hasadás mellett a leggyakoribb reakció a neutronbefogás, amelynek során a neutron elnyelődik, és eggyel nagyobb neutronszámú izotóp jön létre. A hasadóanyagok közül a

¹ Magfizikai okokból tipikusan a páratlan neutronszámú aktinidaizotópok hasadóképesek.



1. ábra • Átlagos neutronhozam az elnyelt neutron energiájának függvényében különböző hasadóanyagokra

természetben egyedül az ^{235}U található meg, a többi neutron-magreakciók hatására jöhet létre. Ez teremti meg az ún. *konverzió* vagy *tenyésztés* lehetőségét, vagyis amikor az atomreaktorokban a hasadóanyag felhasználása közben, neutronbesugárzás hatására ún. *fertilis* vagy *tenyészanyagokból* hasadóanyag jön létre. Ennek egyik legjellemzőbb példája a ^{239}Pu keletkezése ^{238}U -ból neutronbefogás és két egymást követő, rövid felezési idejű bétabomlás eredményeképpen. A folyamatot az ún. *konverziós tényező* jellemzi, amely a reaktorban megtermelt és az elhasznált hasadóanyag aránya. Ha ez a tényező 1-nél nagyobb, akkor tenyésztésről és *tenyésztőreaktorról* beszélünk, amely a folyamatosan betáplált fertilis anyagból képes saját hasadóanyag-szükségletén felül más reaktorok számára is hasadóanyagot előállítani. Az, hogy ez hogyan lehetséges, a reaktorok neutronháztartásának

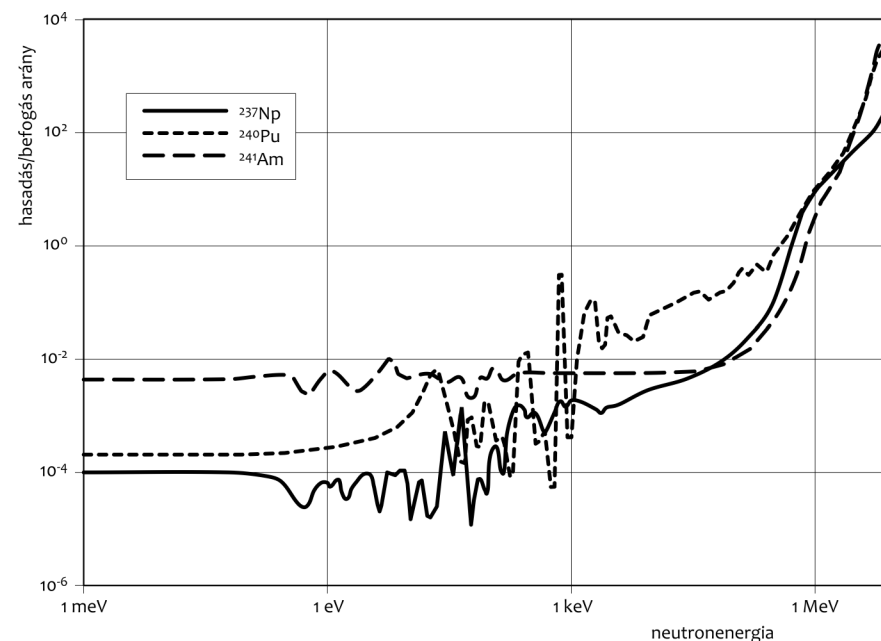
áttekintésével érthető meg. Egy, az üzemanyagban elnyelődött neutron által keltett neutronok átlagos száma az η neutronhozam. Mivel a keletkező neutronok közül egyre szükség van a láncreakció fenntartásához, tenyésztés abban az esetben valósítható meg, ha a kiszűrő vagy az egyéb anyagokban elnyelődő neutronok mellett rendelkezésre áll még egy neutron a tenyészanyagban való befogódásra, vagyis $\eta > 2$. Az 1. ábrán az elnyelődő neutron energiájának függvényében, az 1. táblázatban pedig tipikus neutronspektrumokra átlagol-

	^{239}Pu	^{235}U	^{233}U
termikus reaktor	2,04	2,06	2,26
gyorsreaktor	2,45	2,01	2,31

1. táblázat • Az η átlagos neutronhozam különféle hasadóanyagokra tipikus neutronspektrumokban (Waltar et al., 2012)

va láthatjuk az η értékét különböző hasadóanyagokra. A legkedvezőbb értékeket a ^{239}Pu esetén kapjuk gyorsneutron-spektrumban. Erre alapozódik az ^{238}U tenyészanyagot hasznosító ún. *urán-plutónium ciklus*. Érdeemes megemlíteni a másik lehetséges üzemanyagciklust, a ^{232}Th tenyészanyagra és ^{233}U hasadóanyagra alapozódó *tórium-urán ciklust*. Ebben az esetben a neutronhozam kisebb, viszont termikus neutronokra is meghaladja a 2-t. A tórium-urán ciklus tehát termikusneutron-spektrumú reaktorokban is megvalósítható, és mivel a tóriumkészletek még az uránkészleteknél is bőségesebbek, világszerte komolyan foglalkoznak a kifejlesztésével. Hátránya azonban, hogy míg a ^{239}Pu a dúsított uránt alkalmazó atomreaktorokban előállítható, és a kiegészített üzemanyagban bőségesen rendelkezésre áll, addig az ^{233}U kezdeti előállítását komoly nehézséget okoz.

A fertilis anyagokból azonban nemcsak hasadóanyagok alakulnak ki, hanem többszörös neutronbefogások és más magreakciók révén további aktinidaizotópok széles skálája is. Ezek közül *elsődleges aktinidáknak* nevezzük az urán és plutónium izotópjait, *másodlagos aktinidáknak* pedig az uránon túli többi elemet (neptúnium, amerícium, kúrium). A másodlagos aktinidák felhalmozódásának mértéke erősen függ a neutronok energiaspektrumától, ugyanis kellően nagy energiájú neutronok hatására minden aktinidaizotóp hasadóképesnek tekinthető. A 2. ábrán a hasadás és a befogás valószínűségének aránya látható a beérkező neutron energiájának függvényében néhány tipikusan nem hasadóképes izotópra. Megállapítható, hogy kb. 1 MeV neutronenergia felett már ezek esetében is jellemzőbb reakció a hasadás, ami azt jelenti, hogy a gyorsreaktoroknak a hasadóanyag-te-



2. ábra • A hasadás és a befogás valószínűségének aránya az elnyelt neutron energiájának függvényében néhány nem hasadóanyag-izotópra

nyésztésen túl a másodlagos aktinidák elhasításában is fontos szerepük lehet. Termikus reaktorokban ugyanakkor ezekből az izotópokból még nagyobb tömegszámú aktinidák keletkeznek, amelyek a kiégett üzemanyag hőtermelésének és aktivitásának jelentős részét adják.

A fentiekkel magyarázható, hogy az atomerőművek aktív zónájából eltávolított kiégett üzemanyag nem feltétlenül számít hulladéknak. További kezelésének módja elsősorban a választott üzemanyagciklustól függ. Az alábbiakban külön-külön ismertetjük a kiégett üzemanyag sorsát a különböző ma működő, illetve tervezett üzemanyagciklusokban.

Nyitott üzemanyagciklus

Nyitott üzemanyagciklus esetén a reaktorból kiemelt kiégett üzemanyag már hulladéknak tekinthető, és közvetlenül – feldolgozás nélkül – végleges elhelyezésre kerül. A végleges elhelyezés előtt átmeneti tárolásra van szükség, amely alatt a fűtőelem aktivitása és hőtermelése jelentősen lecsökken. Ez részint megkönnyíti a későbbi műveletek elvégzését, részint pedig lehetővé teszi a fűtőelem folyamatos ellenőrzés és hűtés nélküli elhelyezését. Az átmeneti tárolás tervezett időtartama tipikusan ötven–száz év. A nyitott üzemanyagciklus választása egyértelműen befolyásolja a tároló elrendezését is, hiszen az üzemanyag-kazetákat rendszerint egyben, esetleg feldarabolva vagy szétszerelve helyezik el.

Az atomenergiát alkalmazó országok közül a közvetlen elhelyezés stratégiáját tervezi megvalósítani például az Egyesült Államok, Finnország, Németország és Svédország. Fontos azonban megjegyezni, hogy végleges elhelyezésre még sehol sem került sor, és sok ország még nem hozott döntést, hanem várakozó állásponton van, mivel a kiégett üzem-

anyag tárolása hosszú évtizedekre biztonságosan megoldott, és ez alatt az idő alatt a technológiai fejlődés, illetve az energiahordozók árának alakulása még jelentősen befolyásolhatja a döntést. A nyitott üzemanyagciklus melletti döntés háttérben állhat a reprocesszáls elvetése (például Egyesült Államok); az atomenergetika alkalmazásának felszámolása (például Németország), vagy kisebb országoknál az önálló, és a jelenlegi körülmények között olcsó üzemanyagciklus kialakítása (például Finnország).

Az üzemanyagciklust jellemezhetjük az *uránhasznosítási hatásfokkal*, amely a felszabadított energia és az ehhez kitermelt természetes uránból elvileg felszabadítható energia hányadosa. Ez utóbbi mennyiség egyszerűen becsülhető, ha tudjuk, hogy 1 g uránból mintegy 1 MW nap hőenergia szabadítható fel, ha minden atommag elhasad. Ezt figyelembe véve a világ nyitott üzemanyagciklusban működő könnyűvízes erőművei ma a természetes urán energiataralmának csak mintegy 0,45%-át alakítják át hővé, illetve 0,15%-át villamos energiává. Mindeközben a felhasznált természetes uránnak kb. hatheted része dúsítási maradékként (szegényített uránnaként) és majdnem egyheted része kiégett uránnaként marad vissza, amelyek csak zárt üzemanyagciklusban hasznosíthatók.

A világ igazolt uránkészletei ma mintegy 7 635 200 tonnára becsülhetők (OECD, 2014). Feltételezve, hogy a világ atomerőmű-kapacitása a 2012-es 370 GW körüli értéken stabilizálódik, nyitott üzemanyagciklus mellett ezek a készletek kb. százhusz évre biztosítanak elegendő üzemanyagot. A hagyományos módszerekkel kitermelhető további becsült készletek hozzáadásával ez az idő nagyjából a kétszeresére növekszik, így az atomenergetikára hosszú távon is alapozni lehet az embe-

riség energiaigényének kielégítésében. Ugyanakkor az is fontos szempont, hogy ezeknek a készleteknek jelentős része a mainál költségesebben termelhető ki, emiatt az urán árának folyamatos emelkedése várható. Azt is figyelembe kell venni, hogy a fejlődő világ növekvő energiaigényének kielégítése és a klímavédelmi célok elérése a világ atomenergetikai kapacitásainak jelentős növelését teszik szükségessé. Ezek alapján reálisnak tekinthető az a feltételezés, hogy akár már ebben az évszázadban gazdaságos alternatívává válik a kiégett üzemanyag újrahazsnosítása a reprocesszáls jelentős költségei ellenére is.

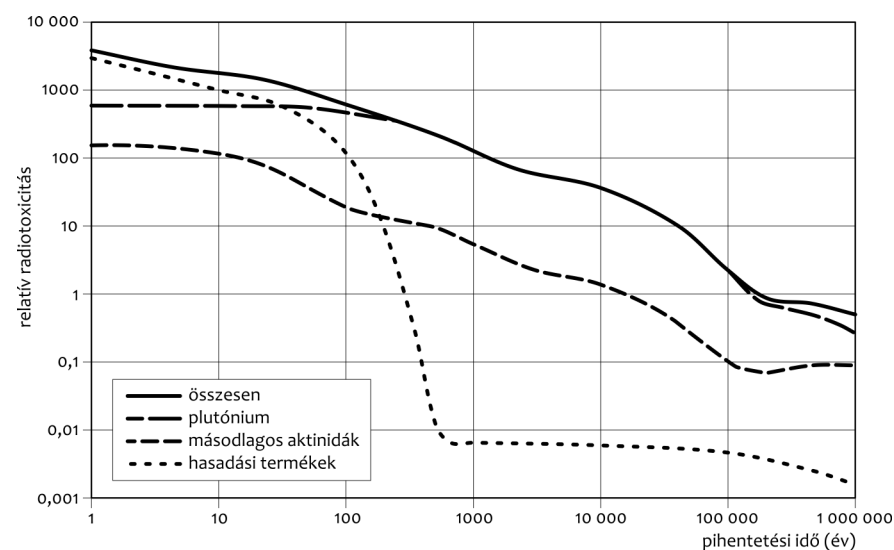
A 3. ábrán látható a nyitott üzemanyagciklusban hátramaradó és végleges elhelyezésre kerülő kiégett üzemanyag radiotoxicitásának alakulása a kitermelt uránhoz viszonyítva. Megfigyelhető, hogy amennyiben a kiégett üzemanyag végleges elhelyezésére feldolgozás nélkül kerül sor, akkor hosszú távon a plutónium izotópjai fogják meghatározni a kocká-

zatokat, amelyek több százezer év alatt bomlanak a kibányászott urán eredeti radiotoxici-tási szintjére. Ezért a végleges tároló mérnöki és geológiai gátjait úgy kell tervezni, hogy erre az időtartamra biztosítsa a hulladék elszigetelést a bioszférától, megakadályozandó, hogy a jövő generációit többletterhelés érje. Ez megfelelő geológiai formáció kiválasztásával elvileg lehetséges.

A nyitott üzemanyagciklus és hozzá kapcsolódóan a kiégett üzemanyag közvetlen elhelyezése tehát ma általánosan elterjedt, technológiailag megalapozott stratégia. Kérdéses ugyanakkor, hogy mennyiben teljesíti a fenntartható fejlődés bevezetőben említett feltételeit.

Zárt üzemanyagciklus

Zárt üzemanyagciklusban a kiégett üzemanyag minden esetben újrafeldolgozásra kerül, azzal a céllal, hogy az energetikailag hasznosítható izotópokat kivonják belőle, és új üzem-



3. ábra • A kiégett üzemanyag kitermelt uránhoz viszonyított relatív radiotoxicitásának időbeli alakulása

anyag gyártásához felhasználják. Ez gyakorlatilag az urán- és plutóniumfrakciók különválasztását jelenti.

A reprocessált plutónium mai leggyakoribb felhasználása az ún. mixed-oxide (MOX) üzemanyag gyártása és felhasználása termikus reaktorokban (Hózer, 2016). Széles körűen alkalmazza ezt a stratégiát például Franciaország. Ehhez plutónium-oxidot állítanak elő (általában ebben a formában tárolják a plutóniumot), amit szegényített uránból készített urán-oxiddal kevernek. A plutónium aránya általában 5–7%, feltéve, hogy a friss dúsított urán-üzemanyag 4,5%-os dúsítású, és a ^{239}Pu aránya a plutóniumon belül 55–65% között van. A plutónium nagyobb aránya a termikus reaktorban a neutronspektrumot a nagyobb energiák felé tolja el, és így csökkenti a reaktivitást szabályozó eszközök hatékonyságát. Ezért néhány esetben további szabályozórudakra van szükség, vagy a bórsav-koncentráció növelésére, esetleg dúsított bór alkalmazására. Mindezek a reaktorfizikai problémák limitálják a hagyományos könnyűvízes reaktorok zónájába tölthető MOX-üzemanyag-kazetták számát. A legtöbb reaktorban a zóna kb. harmada lehet MOX, de néhány típusnál akár 50% is. A legújabb, ún. III. és III+ generációs reaktorokat már általában 100% MOX-zóna befogadására is alkalmassá teszik.

Természetesen a kiégett üzemanyag összetétele is eltérő a dúsítotturán-üzemanyaghoz képest. A termikus reaktorban besugárzott MOX-üzemanyagban a plutónium izotóparánya a kiégés végére jelentősen elromlik, vagyis a hasadóképes izotópok aránya csökken a nem hasadóképesekhez képest. Míg az első ciklus után a ^{239}Pu aránya még 55%, addig a harmadik visszaforgatás után már csak 30%. Ugyanezen idő alatt a ^{242}Pu részaránya 6%-ról 26%-ra növekszik. Ez a folyamat jelentősen

korlátozza a kiégett üzemanyag termikus reaktorokba való visszaforgatásának lehetőségét, a gyakorlatban a kiégett MOX-üzemanyagot már nem reprocessálják, és a kinyert plutóniumot nem táplálják vissza termikus reaktorokba. Ez a termikus reaktorok alacsony, 0,5–0,55 körüli konverziós tényezőjére vezethető vissza, így ugyanis a rendszer nem képes újratermelni a ^{239}Pu hasadóanyagot. Az egyszerűes visszatáplálás eredményeképpen az uránhasznosítási hatások is csak kb. hetedével növekszik meg. Speciális termikus reaktorokkal (amelyek neutronspektruma a nagyobb energiák felé tolódik el) a 0,8–0,9-es konverziós tényező is elérhető, azonban a többszörös visszaforgatás itt is akadályokba ütközik a plutónium összetételének kedvezőtlen változása miatt, így 1%-nál nagyobb uránhasznosítási hatások ezekben az esetekben sem érhető el.

Ezért tehát a plutónium termikus reaktorokba történő visszaforgatása esetén a végleges elhelyezésre kerülő hulladék radiotoxicitása sem csökken, viszont jelentősen csökken a térfogata, hiszen a legnagyobb részét kitevő uránt leválasztották. Kiégett urán-oxidot tartalmazó hét fűtőelem-kazetából egy MOX-kazetta, és némi üvegesített, nagy aktivitású hulladék keletkezik, összességében az eredeti térfogat kb. 35%-át kitevé. Ez az átmeneti tárolás és a végleges elhelyezés költségeinek csökkenését eredményezi, javítva a MOX-üzemanyag alkalmazásának gazdaságosságát.

Az urán hasznosítási hatásokának javításában érdemi áttörést a *gyors-tenyésztőreaktorok* segítségével érhetünk el. Ezekben a gyors-neutron-spektrumú berendezésekben akár 1,2 körüli tenyésztési tényező is elérhető, tehát képesek a ^{239}Pu hasadóanyagot újratermelni, a plutónium összetétele nem romlik, és korlátlan számú visszaforgatás valósítható meg.

Ez azt eredményezi, hogy a rendszer csak természetes urán betáplálását igényli, és a hasznosítási hatásokot optimális esetben 20%-ra is növelhetjük, amivel az ismert urán-készletek évezredes léptékben is biztosíthatják az energiaellátást. Így a gyorsreaktorokat is tartalmazó zárt üzemanyagciklus teljesíti legjobban a természeti erőforrások hatékony felhasználására vonatkozó fenntarthatósági feltételt. A gyorsneutron-spektrum előállításának legnagyobb technológiai kihívása, hogy az aktív zóna nem tartalmazhat moderátor (neutronlassító) anyagot, így a hűtőközeg sem lehet víz. Ezért a gyorsreaktorokban cseppfolyós fémet (nátriumot vagy ólmot) vagy gázt (héliumot) alkalmaznak hűtőközeggént. Mivel a nagy energiájú neutronok kisebb valószínűséggel váltanak ki hasadást, a gyorsreaktorok üzemanyaga közel 20%-ban tartalmaz hasadóanyagot. A tenyésztési tényező maximalizálása érdekében a kiszűkö neutronokat is hasznosítják, egy szegényített uránt tartalmazó *tenyészköpennyel* körbevéve az aktív zónát. Magas tenyésztési tényezőre elsősorban akkor van szükség, ha egy növekvő teljesítményű atomerőmű-rendszerben folyamatosan meg kell termelni a belépő új reaktorok kezdőtöltetét. A másik ok az lehet, ha az atomerőmű-rendszerben termikus reaktorokat is üzemeltetni akarunk, amelyek üzemanyagát a gyorsreaktorok termelik meg. Mivel a termikus reaktorok kezdőtöltete kevesebb hasadóanyagot tartalmaz, mint a gyorsreaktoroké, ezért egy lassan növekvő teljesítményű atomerőmű-rendszerben a termikus és gyorsreaktorok egy meghatározott arányánál érhető el az optimális uránhasznosítási hatások. Ezt hívjuk *szimbiotikus* atomerőmű-rendszernek. A nyitott üzemanyagciklusról a zártra való áttérésnél a kiégett üzemanyagban hátramaradó plutónium a jövő gyorsreaktorainak

kezdeti üzemanyagfeltöltését képezheti. A dúsítási maradék pedig tenyészanyagként használható fel plutónium előállítására (Csom, 1988).

A végleges elhelyezésre kerülő nagy aktivitású hulladékot tekintve a gyorsreaktorokkal megvalósított zárt üzemanyagciklusban várható, hogy a plutónium üzemanyagként újrahasznosul, így – a legfeljebb 0,1%-ra tehető feldolgozási veszteségektől eltekintve – nem jelenik meg a hulladéokban. Ez azt jelenti, hogy a hosszú távú kockázatokat a 3. ábrán látható módon a másodlagos aktinidák fogják meghatározni, és a természetes urán radiotoxicitási szintjének elérése már néhány tízezer éves időtávlatban megtörténik. Szintén jelentős, hogy tovább csökken a végleges elhelyezésre kerülő hulladék mennyisége és így a szükséges tárolókapacitás.

Megállapítható tehát, hogy a zárt üzemanyagciklus a gyorsreaktor megjelenésével tudja betölteni a szerepét, jelentősen javítva az atomenergetika fenntarthatóságát. Fontos megjegyezni, hogy a rendszernek nem kell teljes egészében gyorsreaktorokból állnia, termikus és gyorsreaktorokat vegyesen tartalmazó rendszerek is lehetségesek. Ennek előnye lehet, hogy nemzetközi együttműködésben megvalósítva a kisebb atomerőmű-rendszerrel rendelkező országok megmaradhatnak a hagyományos termikus reaktorok üzemeltetésénél. Az is fontos tanulság, hogy a jelen atomenergetikája által felhalmozott kiégett üzemanyag és az abban található plutónium a leendő gyorsreaktorok indítótöltetét biztosító értékes nyersanyaggá válhat a jövőben.

A gyorsreaktorok fejlesztése már az atomenergetika hajnalán megindult. A '60-as, '70-es években a gyorsreaktorok rohamos elterjedésével számoltak, mivel az akkori ismeretek alapján úgy tűnt, hogy az uránkészletek hamar kimerülhetnek, és az atomener-

getika csak az üzemanyag-tenyésztés révén nyújthat hosszú távon is életképes opciót. A várakozásokat fokozta az is, hogy az olajválságok nyomán úgy látszott, hogy rövid idő alatt szinte teljesen át kell térni a fosszilis energiahordozókról az atomenergetikára. Miután ezek a várakozások nem igazolódtak be, az uránárak tartósan alacsonyak maradtak, és a kőolaj ára is stabilizálódott, a különböző országok gyorsreaktor-programjai kezdeti szinten megakadtak. Az 1980-as évekre bebizonyosodott, hogy a gyorsreaktorok rövid távon nem lesznek versenyképesek a hagyományos termikus reaktorokkal. A gyorsreaktorok fejlesztése azonban az elkövetkezendő évtizedekben jóval nagyobb hangsúlyt kaphat. Ezt látszik alátámasztani az a tény, hogy a Generation IV International Forum által a 2030 utáni időszak kereskedelmi típusainak javasolt hat reaktor között három gyorsreaktor is van: a nátrium-, az ólom- és a gázhűtésű gyorsreaktor, amelyek fejlesztését az Európai Unió is prioritásként kezeli (Gadó, 2016).

Kétszeresen zárt üzemanyagciklus

Ha az üzemanyagciklus zárásának nemcsak a természetes urán felhasználásának optimalizálása a célja, hanem a keletkezett nagy aktivitású hulladékok visszaforgatása is, azok *transzmutációja* – vagyis neutronbesugárzással rövidebb felezési idejű izotópokká való átalakítása – céljából, akkor kétszeresen zárt üzemanyagciklusról beszélhetünk. A transzmutáció alap gondolata nem új ötlet, szinte egyidős az atomenergetikával (Fehér, 2007). Már a '40-es években felvetődött a gondolat, hogy a gyorsítótechnológia hasznos lehet az atomenergetika hulladékainak kezelésében. A neutron-magreakciókat felhasználó transzmutációval kapcsolatos első publikáció 1958-ban jelent meg.

A kétszeresen zárt üzemanyagciklusban a reprocessálást felváltja annak továbbfejlesztett verziója: az ún. *szétválasztás* (*partitioning*), mivel itt már nemcsak a hasadóanyagként hasznosítható urán és plutónium elválasztása a cél, hanem a nagy aktivitású hulladékot alkotó, hosszú felezési idejű másodlagos aktinidák és hasadási termékek szétválasztása is. A 3. ábrán látható, hogy a plutónium eltávolítása után hosszú távon a másodlagos aktinidák, különösen a neptúnium és az amerícium izotópok felelősek a kockázatokért. Ha az összes aktinidát sikerül eltávolítani a hulladécsomagból, akkor már a hasadási termékek által meghatározott ezer éven belüli időtartam alatt a természetes urán szintjére csökken a radiotoxicitás. A transzmutáció elsődleges célja ezért a másodlagos aktinidák visszatáplálása és elhasítása. A hasadási termékek közül elsősorban a ^{129}I és a ^{99}Tc képvisel hosszú távú kockázatokot, amelyek szintje azonban a megkívánt érték alatt marad. Természetesen jobb üzemanyag-kihasználás, illetve az összes aktinida elhasítása esetén megnövekedhet a hasadási termékek által képviselt radiotoxicitás részaránya a hulladékban. Ekkor érdemes megfontolni a hosszú felezési idejű hasadási termékek transzmutációját is.

Ahogy láttuk, a gyorsreaktorok neutron-spektruma sokkal keményebb, mint a termikus reaktoroké, így az aktinidák sokkal hatékonyabb átalakítására (elhasítására) képesek. A transzmutáció megvalósításában ezért a gyorsreaktorokra hárul az elsődleges szerep. A másodlagos aktinidák betöltése a reaktorba elképzelhető homogén módon egyenletesen minden fűtőelem-pálcába vagy heterogén módon speciális másodlagosaktinidatartalmú pálcákat alkalmazva. A másodlagos aktinidák zónába töltött mennyiségét reaktorfizikai, biztonsági okok korlátozzák. A

gázhűtésű és az ólomhűtésű gyorsreaktorokban valamivel keményebb neutronspektrum alakítható ki, mint a nátriumhűtésűben, így ezeknél a típusoknál a fejlesztések fontos célja a másodlagos aktinidák betöltésének lehetővé tétele.

Mivel a másodlagos aktinidák mennyisége töredéke a plutónium mennyiségének, kézenfekvő elgondolás, hogy visszatáplálásuk az atomerőmű-rendszernek csak egy részét érintse. Ez az ún. *kétrétegű üzemanyagciklus*, amelyben az első rétegben a hagyományos urán-plutónium ciklusban zajlik az energiatermelés, a másodlagos aktinidák visszatáplálása pedig csak a második réteg transzmutációra optimalizált reaktoraiba történik. A transzmutációra optimalizált rendszerek között a gyorsreaktorok mellett érdemes megemlíteni a *gyorsítóval hajtott szubkritikus rendszert* (*Accelerator Driven System – ADS*). Működési elve, hogy egy nagy energiájú (~ 1 GeV) protonnyaláb spallációs reakciók útján nagyszámú neutronot kelt egy nehézfémben (W, Pb, Bi stb.) céltárgyban, és ez a neutronforrás hajtja a céltárgyat körülvevő szubkritikus zónát. A szubkritikusság miatt a másodlagos aktinidának sokkal nagyobb koncentrációja engedhető meg, mint egy kritikus reaktorban, ezért valószínű, hogy a jövőben megvalósuló kétszeresen zárt üzemanyagciklusban a gyorsítóval hajtott rendszerek is szerepet kapnak a transzmutációban.

Kétszeresen zárt atomenergia-rendszer gázhűtésű gyorsreaktorral

A hátrahagyott hulladékok és az urán hasznosítása szempontjából is kedvező atomerőmű-rendszerre a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézetének kutatási eredményei alapján mutatunk be egy példát (Szieberth et al., 2014).

Intézetünk 2010-ben kapcsolódott be a gázhűtésű gyorsreaktorral (GFR) kapcsolatos európai kutatásokba, és ennek keretében a francia CEA atomenergetikai kutatóintézet által kidolgozott, 2400 MW hőteljesítményű, héliumhűtésű koncepció (GFR2400) vizsgálatába. Az alacsony sűrűségű hélium hűtőközeg különlegesen nagy energiájú neutronspektrumot tesz lehetővé, mivel alig lassítja a hasadásban keletkező nagy energiájú neutronokat. Mint láttuk, ez kedvező az üzemanyag-tenyésztés és a másodlagos aktinidák hasznosítása szempontjából is. Ezért ennek vizsgálatára kidolgoztunk egy üzemanyagciklus-számítási modellt, amelynek segítségével egy GFR-eket és könnyűvízes reaktorokat tartalmazó atomerőmű-rendszert lehet szimulálni. A modell aktinidaizotópok széles skálájának anyagáramait képes nyomon követni az üzemanyagciklus létesítményei között. A számítási modell segítségével vizsgáltuk a plutónium és a másodlagos aktinidák különböző visszatáplálási stratégiáit. Legfontosabb megállapításaink a következők voltak:

A GFR2400 teljesíti a tervezésnél kitűzött célt: a tenyésztési tényező 1 körüli, vagyis képes „öntenyésztő” módon előállítani a saját üzemanyagát a betáplált szegényített uránból.² A plutónium összetétele a visszatáplálások során nem romlik, a ^{239}Pu aránya 60% körüli értéken stabilizálódik.

A GFR-ben keletkező másodlagos aktinidákat (MA) homogén módon visszatáplálva 1% körüli egyensúlyi MA-koncentráció alakul ki a reaktorban (4. ábra), vagyis a betáplált mennyiséget folyamatosan elfogyasztja. Így megvalósul az a cél, hogy a nagy aktivitású hulladékba csak a feldolgozásnál

² A reaktort tenyészköpeny nélkül tervezték, mert nem volt cél többlet plutónium előállítása.

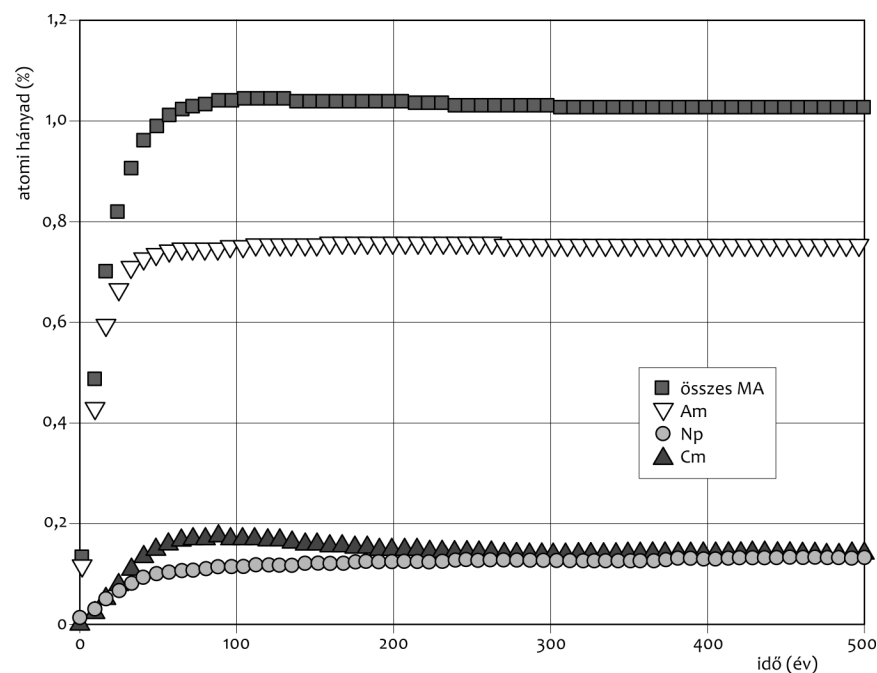
jelentkező veszteségek kerülnek. Az egyensúlyi koncentrációt növelve a GFR más reaktorok MA-termelését is képes átalakítani, így például 5%-os MA-koncentrációnál kilenc hasonló teljesítményű könnyűvízes reaktor termelését lehet folyamatosan betáplálni.

Meglepő módon a magasabb MA-tartalom hatására még enyhén növekszik is a reaktor tenyésztési tényezője. Ennek oka, hogy egyes MA-izotópok hasadóanyagként, mások pedig fertilis anyagként viselkednek a reaktorban. Az üzemanyag-tenyésztés és az MA-átalakítás céljai tehát nem ellentétesek egymással, egyszerre is megvalósíthatóak.

Vizsgálataink is igazolták tehát, hogy gyorsreaktorok alkalmazásával megvalósítható egy kétszeresen zárt, a természetes urán hasznosítása és a hátrahagyott hulladék szempontjából is fenntartható rendszer.

Összegzés

Az üzemanyagciklus zárásának lehetséges változatait áttekintve láthattuk, hogy az üzemanyag-hasznosítás és a hátrahagyott hulladék szempontjából jelentős áttörést a gyorsreaktorok megjelenése és a plutónium visszaforgatása hozhat. A gyorsreaktor-technológia és a feldolgozási eljárások továbbfejlesztésével a másodlagos aktinidák visszaforgatása is megoldható, tovább csökkentve a hosszú távú kockázatokat a végleges elhelyezésnél. Ezeknek a technológiáknak az elterjedése csak a XXI. század második felében várható, azonban a jelen atomenergetikája szempontjából is jelentőségük van, hiszen a ma átmeneti tárolóba kerülő kiegészítő üzemanyag a jövő üzemanyagciklusában nyersanyag, erőforrás lehet.



4. ábra • Másodlagos aktinidák (MA) mennyiségének alakulása a GFR-ben a termelt MA-k visszatáplálása mellett

Kulcsszavak: nukleáris üzemanyagciklus, üzemanyag-tenyésztés, radioaktív hulladékok, gyorsreaktor, reprocesszáls, transzmutáció

IRODALOM

- Csom Gyula (1988): *Atomenergia-rendszerek nukleáris-üzemanyag-ciklusának továbbfejlesztési lehetőségei*. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Fehér Sándor (2007): Radioaktív hulladékok transzmutációja. *Magyar Tudomány*. 167, 1, 4–10.
- Gadó János (2016): Gyorsreaktorok az üzemanyagciklusban. *Magyar Tudomány*. e cikkgyűjtemény 552. oldalán
- Hózer Zoltán (2016): A kiegészítő üzemanyag jellemzői és feldolgozása. *Magyar Tudomány*. e cikkgyűjtemény 534. oldalán

- OECD Nuclear Energy Agency – International Atomic Energy Agency (2014): *Uranium 2014: Resources, Production and Demand*. NEA No. 7209. OECD, Paris • <https://www.oecd-neo.org/ndd/pubs/2014/7209-uranium-2014.pdf>
- Szieberth Máté – Halász M. – Fehér S. – Reiss T. (2014): Gázhűtésű gyorsreaktor üzemanyagciklusának modellezése. *Nukleon*. 8, 160, 1–6. • http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/Nukleon_7_2_160_Szieberth.pdf
- Waltar, Alan E. – Todd, D. R. – Tsvetkov, P. V. (eds.) (2012): *Fast Spectrum Reactors*, Springer, New York



GYORSREAKTOROK AZ ÜZEMANYAGCIKLUSBAN

Gadó János

az MTA doktora,
MTA Energiatudományi Kutatóközpont
gado.janos@energia.mta.hu

*Milyen hasznot tudnak hozni
a gyorsreaktorok?*

A fenntartható fejlődés igénye az emberiség alapvető paradigmája. Látható, hogy az emberiség egésze nehéz küzdelmet folytat mind az energiaforrások iránti igény kielégítéséért, mind pedig az energiatermelés környezeti hatásainak minimalizálásáért. Mindkét ügyben komoly szerepet játszik és játszhat az atomenergetika. A ma használatos és a most üzembe lépő atomerőművek igen lényegesek mind az energiaigények kielégítésében (a világ villamosenergia-termelésének 11%-a származik atomerőművekből [URL]), mind a környezeti hatások minimalizálásában (ha atomerőművekben megtermelt villamos energiát atomerőművek helyett fosszilis üzemanyagot használó erőművekben termelnénk meg, akkor a villamos energia termeléséből származó üvegházhatású gázok kibocsátása világszinten a mai érték 120%-a lenne). Mindazonáltal a mai atomerőművek mégsem tekinthetők optimálisnak a fenti két alapvető érdek kielégítése szempontjából.

Ennek egyik oka az, hogy a mai atomerőművekben az uránbázisú üzemanyagnak csak mintegy 1%-a hasznosul. A mai atomerőműpark reaktorainak 81%-át vízzel hűtik. A víz-

nek sok kiváló tulajdonsága van: viszonylag magas fajhője és magas forráshője miatt kiváló a hőelvonó és hőhordozó képessége; a vízzel hajtott erőművi berendezések egyszerűek, használatuk több évszázados tapasztalat alapján tökéletesedett; tisztasága, csekély mértékű korrozivitása előnyös mind a berendezések működtetése, mind pedig az esetleges környezetbe kerülése szempontjából.

A vízzel hűtött reaktorok többségében a víz a maghasadásos láncreakcióban keletkező neutronok lassítására is szolgál. A maghasadás során a neutronok 1-10 MeV energiával keletkeznek. A neutronok víz jelenlétében lelassulnak, energiát adnak át a vízmolekula protonjainak. Ez a lassulási folyamat a láncreakció fenntarthatósága miatt szükséges és előnyös, mert kis, ún. termikus energiákon (0-1 eV) az ^{235}U izotóp hasadási hatáskeresztmetszete nagy, és emiatt elérhető, hogy a hasadásban keletkezett 2-3 neutron közül egy újabb hasadást váltson ki, azaz a láncreakció önfenntartó lehessen. A lassulási folyamat a vízhűtés miatt szinte elkerülhetetlen (az egyéb technológiai megoldások, például a vízhűtés kombinálása grafit lassítóanyaggal jelentős biztonsági kockázattal jár, lásd Csernobil). Ahhoz, hogy vízzel hűtött és moderált reaktorok működjenek, a természetben található

urán ^{235}U -tartalmát (0,7%) meg kell növelni mintegy 3-5%-ra, azaz az uránt dúsítani kell. (A kanadai gyártmányú CANDU-reaktorok a nehézvízes moderálásnak köszönhetően természetes uránt használnak, ám itt az üzemanyag-hasznosulás még kisebb.)

Ez a jól bevált energiatermelési módszer láthatóan csak az urán kevesebb mint 1%-át használja fel. A vízhűtéses és vízzel lassított neutronokkal működő atomreaktorokban az urán másik természetes izotópja, az ^{238}U gyakorlatilag veszendőbe megy. Tudható, hogy az ^{238}U ugyancsak hasadóképes, de csak 0,8 MeV feletti energiájú neutronok tudják kiváltani a hasadási reakciót. Ennél fontosabb, hogy az ^{238}U neutronbefogással ^{239}U izotóppá, az pedig két rövid felezési idejű β -bomlás révén ^{239}Pu izotóppá alakul át. A természetben nem található ^{239}Pu -nak ugyancsak jelentős a termikus hasadási hatáskeresztmetszete, továbbá neutronbefogással belőle a többi plutóniumizotóp (^{240}Pu , ^{241}Pu és ^{242}Pu) is előáll. Már az atomenergia-kutatások kezdetén felmerült, hogy ha egy reaktorban a hasadásban keletkező neutronokat nem lassítjuk le, hanem azok a keletkezési energiájuk közelében váltanak ki újabb maghasadást, akkor az urán egésze hasznosítható lenne. Ezekben a reaktorokban tehát a neutronok zömének energiája a MeV-es, ún. gyors tartományban lenne, ezért ezeket a reaktorokat gyorsreaktoroknak nevezzük, megkülönböztetésül az előzőekben említett termikus reaktoroktól.

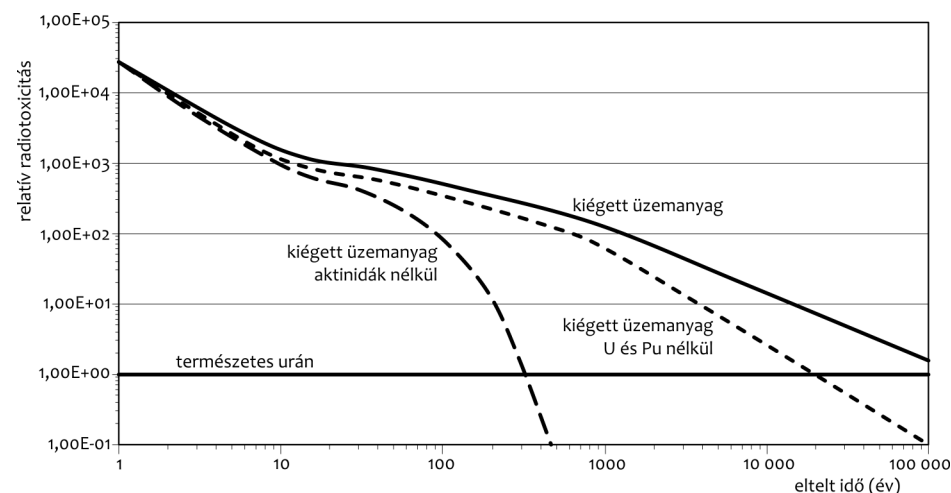
A gyorsreaktorok fejlesztésének egyik kulcskérdése az üzemanyag: ez a hatáskeresztmetszet-viszonyok miatt ^{239}Pu alapján készíthető el. Ha tehát a mai termikus reaktorokban keletkező plutóniumot kinyerjük a kiégett fűtőelemekből, akkor azt felhasználva üzemanyagot kapunk a gyorsreaktorokhoz. Ennél még fontosabb, hogy a gyorsreakto-

rokba betáplált plutóniummal akár azonos vagy még nagyobb mennyiségű plutónium nyerhető ki az üzemanyag azon részéből, amelybe természetes vagy szegényített uránt töltünk. Szaknyelven szólva, egy gyorsreaktor tenyésztési tényezője 1-nél nagyobb lehet. A tenyésztési tényezőt alapvetően a hatáskeresztmetszet-viszonyok határozzák meg, 1-nél nagyobb tenyésztési (vagy konverziós) tényező termikus reaktorokban nem érhető el. Az 1-nél valamivel nagyobb konverziós tényező révén olyan rendszerhez jutunk, amely az energiatermelés során ciklikusan megtermeli a következő energiatermelési ciklus üzemanyagát. Így gyakorlatilag a fenntartható fejlődés mintaképehez lehet eljutni: gyorsreaktorokkal az atomenergetika üzemanyag-szüksége évezredek időskálán biztosítható. A tenyésztés és hasznosítás kérdéseivel az összeállítás egy más cikke (Szieberth, 2016) foglalkozik részletesen.

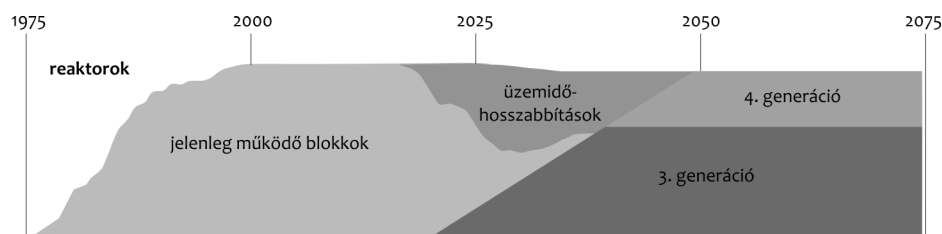
Érdemes kitérni arra, hogy miért nem hasznosítjuk a kinyert plutóniumot termikus atomreaktorokban. A helyzet az, hogy a hasznosítás valamilyen mértékben ma is megtörténik, ez több országban megvalósult gyakorlat. Sajnálatosan azonban a plutónium újrahasznosítása során a plutónium izotópvektora, azaz az egyes plutónium-izotópok részaránya kedvezőtlen irányban változik, és a plutóniumalapú kiégett fűtőelemek újrahasznosítása (a plutónium dúsításának eredménytelen volta miatt) termikus reaktorokban fizikailag lehetetlen.

A gyorsreaktorok másik kulcskérdése, hogy ha víz nem lehet a reaktorban, akkor vajon milyen hűtőközeg veheti fel a hasadások során keletkező energiát. Ezzel foglalkozunk a cikk második részében.

Amint a cikk elején említettük, a mai reaktorok nem optimálisak a környezeti hatás



1. ábra • A kiégett UO_2 -alapú üzemanyag és a természetes uránérc relatív radiotoxicitása az idő függvényében (Hózer, 2013)



2. ábra • Stratégia a nukleáris energia részarányának szinten tartására (SNE-TP, 2007 alapján)

szempontjából sem. Ezzel korántsem arra gondolunk, hogy az atomreaktorok radioaktív kibocsátása jelentős veszélyt jelentene a környezetre, hanem arra, hogy az urán hasadással történő „elégetése” során létrejövő kiégett üzemanyag mint hulladék elhelyezése problematikus. Ennek oka elsősorban az, hogy a kiégett üzemanyagban található radioaktív izotópok némelyike, elsősorban az ún. másodlagos aktinida (Np, Am, Cm) izotópok felezési ideje igen hosszú. Így a kiégett fűtőelemek újrahasznosítása, azaz a Pu izotópok kinyerése és gyorsreaktorban való ismételt felhasználása, továbbá a másodlagos aktinidák kinyerése és gyorsreaktorban történő

átalakítása viszonylag gyorsan bomló izotópokká (transzmutáció) igen nagy mértékben lecsökkenti azt az időtartamot, ameddig a reaktorok kiégett fűtőelemeiben maradó, fel nem használható, nagy aktivitású hulladékot ellenőrizetten tárolni kell. Egy olyan gyorsreaktoros rendszerben, ahol a plutónium és a másodlagos aktinidák elégetése megoldódik, a ma szükségesnek látszó több tízezer éves tárolási szükséglet néhány száz évre csökkenthető, amint azt az 1. ábra mutatja.¹

¹ Az időtartamot az határozza meg, hogy mikorra csökken a hulladék radiotoxicitása a természetes urán radiotoxicitásának szintjére.

A fentiek alapján tehát kezdetben a termikus reaktorok kiégett fűtőelemeiből kinyert plutóniummal üzemeltetett gyorsreaktor-flotta, a későbbiekben pedig az itt előálló kiégett fűtőelemekből kinyert plutónium segítségével az atomenergetika gyakorlatilag a fenntartható fejlődés részévé tehető. Az erre vonatkozó európai terveket a 2. ábra szemlélteti. A fűtőelemek újrahasznosítása, azaz a fűtőelemciklus zárása biztosítja, hogy az atomenergetika nemcsak az üzemanyag-elátás, de a csekély környezeti hatás miatt a fenntartható fejlődés alapeleme is lehessen.

Magával az újrafeldolgozással (reprocesszással) az összeállítás más cikke (Hózer, 2016) foglalkozik, ezért ennek részleteire nem térünk ki. Érdekes azonban megemlíteni, hogy a gyorsreaktorokból vagy gyors- és termikus reaktorokból álló flotta kulcseleme a reprocesszálást végző létesítmény, ami három okból is problematikus:

A reprocessálás során hasadó anyagokat különítünk el más anyagoktól, így a létesítmény védelme mind a proliferáció, mind a terrorhárítás szempontjából kiemelt fontosságú, az elkülönített hasadóanyagból ugyanis alkalmasint nukleáris fegyvert lehet készíteni. Jelenleg nehezen képzelhető el, hogy az atomhatalmak megtűrnék egy ilyen berendezés létesítését területükön kívül.

A reprocessálás nagyon veszélyes tevékenység, mind a környezeti hatás, mind a létesítményben dolgozó emberek szempontjából. Speciálisan szigorú követelményeket kell érvényesíteni (kritikus tömeg létrejöttének fizikai ellehetetlenítése, sugárvédelem, mérgező anyagok elleni védelem).

A reprocesszáló létesítmény építése csak legalább 20 GW_e összteljesítményű, legfeljebb kétfajta reaktorból álló reaktorflotta esetén lehet kifizetődő.

Mindezek miatt a gyorsreaktorok kifejlesztése és főképp rendszerbe állítása csak e problémák megoldása után válhat egyértelmű céllá.

A lehetséges gyorsreaktor-technológiák

A lehetséges gyorsreaktor-technológiáknak számos közös és számos egyedi vonásuk van. Közös, hogy a gyorsreaktor fűtőelemeinek burkolata acél, míg a termikus reaktorokban cirkóniumötvözeteket használnak. A gyorsreaktorokban fellépő magasabb hőmérséklet és főleg nagy sugárkárosodás miatt cirkóniumötvözetek nem használhatóak. A gyorsreaktorok közös tulajdonsága, hogy lényegesen rövidebb idő áll rendelkezésre a láncreakció üzemzavari leállítására, mint a termikus reaktorokban. A hasadásban keletkező neutronok kis része nem azonnal, hanem bizonyos késéssel keletkezik, és ez ad módot a beavatkozásra, gyakorlatilag arra, hogy a láncreakciót abszorbensek még időben leállítsák. E késő neutronok aránya a ^{239}Pu esetében alig fele az ^{235}U hasadásakor mért aránynak.

Az egyedi vonások legfontosabbika a hűtőközeg megválasztása. Amint azt korábban említettük, a gyorsreaktorok hűtésére a víz, intenzív neutronlassító tulajdonsága miatt nem jöhet szóba. A lehetséges anyagok alacsony olvadáspontú és jó hővezető képességű fémek, elsősorban a nátrium és az ólom, valamint gázok, elsősorban a hélium. Amikor a 2000-es évek elején elkezdődött az atomreaktorok 4. generációjának kifejlesztése, akkor ez a három koncepció – három másik, nem gyorsreaktoros koncepcióval együtt – szerepelt a fejlesztési célok között. Ma – legalábbis Európában – ennek a három reaktortípusnak a fejlesztése maradt meg célnak, a többiek nem tűnnek perspektivikusnak, mivel segítségükkel vagy nem valósítható meg az üzemanyagciklus zárása (igen magas hőmér-

sékletű reaktor és szuperkritikus vízhűtési reaktor), vagy a technológia igen nehezen kifejleszthetőnek tűnik (olvadásko-reaktor).

A három gyorsreaktor-típus fejlesztésének helyzete különböző:

Nátriumhűtésű gyorsreaktorokat korábban is építettek Oroszországban, Franciaországban, Indiában, Japánban és az Egyesült Államokban. Ezek közül ma csak az orosz BN-600 működik, és az új BN-800-at mostanság helyezik üzembe. A tervek közül talán a legfontosabb a francia ASTRID 600 MW_e teljesítményű prototípus erőmű, amely talán a 2020-as évek második felében léphet működésbe. Komoly tervek vannak Oroszországban és a fontosabb ázsiai országokban.

Ólomhűtésű gyorsreaktorral felszerelt atomerőmű még sehol sem épült, de a Szovjetunióban ólomhűtésű reaktorokat (is) használtak tengeralattjárók motorjaként. Ezek megnövelt teljesítményű, atomerőművi változatát tervezik megépíteni Oroszországban. Olaszromán együttműködésben tervezik az ALF-RED demonstrációs reaktor megépítését.

Gázhűtésű gyorsreaktor ugyancsak nem épült sohasem. A Visegrádi Négyek (V4) franciákkal való együttműködésben tervezik az ALLEGRO-reaktor megépítését, amivel a következő fejezet részletesebben foglalkozik.

Az új reaktortípusoktól mindenképp elvárható, hogy biztonságuk legalább a mai legmodernebb vízhűtési reaktorok biztonságának szintjét elérje. A három gyorsreaktor-típus biztonsági előnyeit és hátrányait a francia nukleáris hatóság tudományos háttérintézménye, az IRSN (2014) tanulmánya alapján célszerű összefoglalni.

A nátriumhűtésű gyorsreaktorok fő előnye az alacsony nyomású hűtőközeg használata. A hűtőközeg üzemi hőmérséklete

messze a forráspont alatt van, így nagy biztonsági tartalék áll rendelkezésre üzemzavarok esetén a reaktorzóna megolvadásának elkerülésére, de hátrányos, hogy a magasabb hőmérsékleteken a reaktortartály épsége a nátriummal való intenzív kölcsönhatás miatt nem garantálható. További hátránya a nátrium ismert intenzív kölcsönhatása vízzel és levegővel, valamint a fűtőelemek acélburkolatával. További vizsgálatokra, kutatás-fejlesztésre mindenképp szükség van.

Ami az ólomhűtésű gyorsreaktorokat illeti, a fő előnyt az ólom kedvező neutronfizikai tulajdonságai jelentik, továbbá az, hogy az ólom nem lép intenzív reakcióba vízzel és levegővel. A reaktorban lévő nagy térfogatú folyékony ólom jelentős hőtehetetlenséget okoz, és így nagy a biztonsági tartalék üzemzavarok esetén. Bizonyos üzemzavarok esetén az ólom felforrhat anélkül, hogy a reaktor leállna, és magas hőmérsékleteken a reaktortartály integritása veszélybe kerülhet. A fő hátrány természetesen az, hogy az ólom erősen korrodálja az acélból készült szerkezeteket, például a fűtőelemek burkolatát. Ennélfogva az üzemi hőmérséklet felülről korlátozott, de alulról is, mert az ólom megszilárdulhat. Az üzemi hőmérséklet elfogadható tartományának korlátozottsága veszéllyel jár. Az ólom mérgező tulajdonságai kedvezőtlenek a környezeti hatások szempontjából. Ha a hűtőközeg hőmérsékleti viszonyait kedvező irányban befolyásoló ólom–bizmut–eutektikumot választják hűtőközegnek, akkor a bizmutból keletkező ²¹⁰Po-izotóp komoly mérgezési veszélyt jelent. Amint látható, komoly műszaki gátakat kell leküzdeni, hogy az ólomhűtésű gyorsreaktorok bevezethetők legyenek.

Lényegében ugyanez a helyzet a gázhűtésű gyorsreaktorokra vonatkozóan is. A tervezett magas üzemi hőmérséklet nagy lehető-

ségeket jelent az energiatermelésen kívüli ipari felhasználásban (például hidrogéngyártás). Biztonsági szempontból viszont a szokatlanul nagy teljesítménysűrűség és a gáz halmazállapotú hűtőközeg kis hőtehetetlensége kockázatos. E kockázat csak úgy küzdhető le, ha a fűtőelemek burkolata hőálló (1600 °C) kerámiából készül, aminek a technológiai fejlesztése igen nagy feladat. A zóna üzemzavari hűtése aktív rendszereket igényel, a biztonság szempontjából jóval kedvezőbb passzív megoldások keresése még csak megkezdődött. A gáz hűtőközeg semmiképpen sem tartja vissza a fűtőelemekből esetlegesen kikerülő radioaktív anyagokat (szemben a folyékony hűtőközeggel), ami további hátrányt jelent. Ugyanakkor a hűtőközeg inert, és nem veszélyezteti a környezetet. Látható, hogy a gázhűtésű gyorsreaktorok fejlesztéséhez hosszú távú, nagyon komoly kutatómunkára van szükség, és a technológia érettsége csak több lépésben lesz demonstrálható.

Összességében tehát a kép nem túl kedvező. A különböző gyorsreaktorok ötlete már az atomenergia fejlesztésének kezdetén felmerült, de a technológia érettsége, bevezethetősége máig kérdéses. Mindazonáltal annyira kedvező lenne az atomerőművi üzemanyagciklus zárása, hogy az ehhez nélkülözhetetlen gyorsreaktorok fejlesztése bizonyosan folytatódni fog. A XXI. században, lehetőleg annak első felében a biztonságos gyorsreaktor-technológia kifejleszthetőnek tűnik, de intenzív nemzetközi erőfeszítésekre van szükség.

Az ALLEGRO-projekt

2010-ben francia kezdeményezésre² a V4 országok nukleáris kutatóintézetei, köztük az

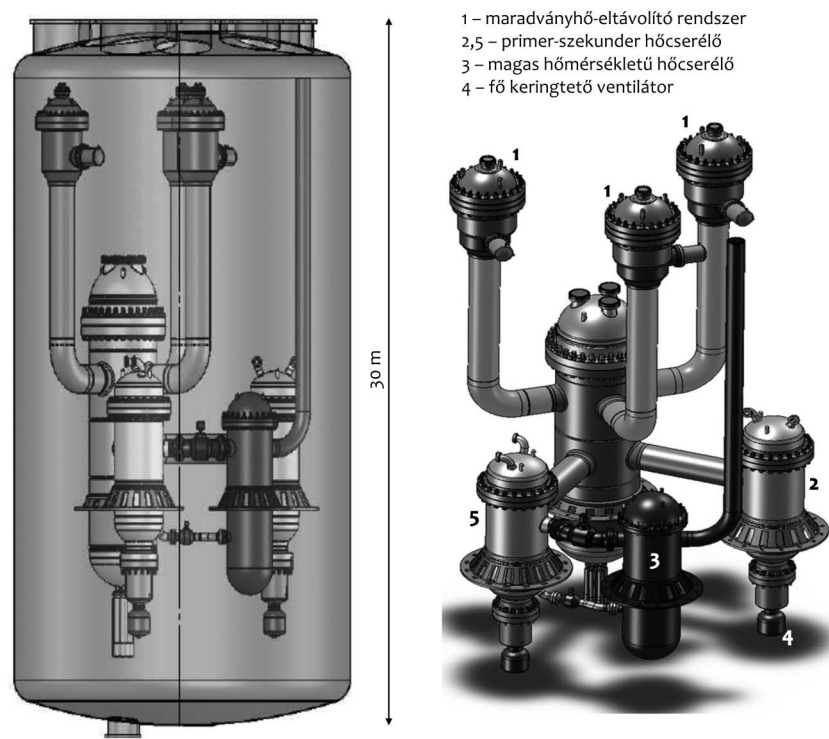
MTA Energiatudományi Kutatóközpont (pontosabban annak jogelődje) megállapodtak az ALLEGRO-projekt előkészítésében. A projekt célja egy demonstrációs gázhűtésű gyorsreaktor megépítése a V4 országok valamelyikében. Az előkészítés 2015 közepére érte el azt a szintet, hogy a projekt első fázisa, azaz a reaktor koncepcionális tervezése megkezdődhetett. Ez az első fázis a tervek szerint tíz évig tart, ezután következhet az ALLEGRO-reaktor elvi engedélyeztetése, a részletes tervek kidolgozása és azután a reaktor megépítése (várhatóan Szlovákiában) és üzembe helyezése további mintegy tíz év után.

Az ALLEGRO-reaktor (3-4. ábra) kifejlesztésének és a csatlakozó kutatásoknak a terveire, részleteire itt nem tudunk kitérni. A gázhűtésű gyorsreaktor biztonsági kihívásait és azt, hogy az ALLEGRO-reaktor kifejlesztése és működtetése során hogyan szeretnénk megfelelni ezeknek a kihívásoknak, a közelmúltban összegeztük (Gadó, 2015). Mindenesetre az atomenergetikában szokásos fejlesztési munkálatokon messze túlmenő tudományos és technológiai feladatok megoldásáról van szó. Ízelítőül csak néhányat említünk:

- kerámia fűtőelem-burkolat fejlesztése
- magas hőmérsékletet (850 °C) elviselő acél jellegű szerkezeti anyagok fejlesztése
- a hűtőközeg kis hőtehetetlenségének kompenzálása passzív biztonsági megoldásokkal
- alapvető fizikai elvek alapján működő passzív megoldás a reaktor megszaladásának (az ellenőrizetlen teljesítménynövekedésnek) megállítására
- a héliumtechnológia fejlesztése, a hélium tisztítása, a kiszökés minimalizálása.

² A franciáknak az ITER fúziós berendezés, a JHR-kutatóreaktor és az ASTRID nátriumhűtésű gyorsre-

aktor megépítése olyan sok feladatot jelent, hogy az ALLEGRO építését önállóan nem akarták vállalni.



3. ábra • Az ALLEGRO reaktor elrendezése és fő technológiai elemei

Az általános célon túl talán kérdéses, hogy miért is hozták létre a V4 nukleáris kutatóintézetek az ALLEGRO-projektet. Tény, hogy az Európai Uniónak ebben a régiójában jelentős atomenergetikai tudás és tapasztalat halmozódott fel, és ezt a tudást érdemes mozgósítani nagy léptékű, az egész fejlett világ és az EU által fontosnak minősített élenjáró kutatásokra. A gázhűtésű gyorsreaktor megépítése hatalmas kihívást jelent, ami számos fiatal kutatónak biztosítani tudja az izgalmas, nemzetközileg jól beágyazott kutatásokban való részvételt. A kutatásokhoz új infrastruktúra (anyagvizsgáló, fűtőelem-fejlesztő, hélium-technológiai laboratóriumok) kiépítése szükséges, ebben pedig ez a régió szűkölködik. A kutatáscentrikus érveken túl nagyon fontos,

hogy a projekt izgalmas és nagy volumenű ipari feladatot is teremt, a régió ipari vállalkozásai igényes beszállításokkal világszínvonalú termékek létrehozásának módszereit sajátíthatják el, ami számukra azonnali és perspektivikus munkát is jelent.

A projekt indítása és keresztülvitele maga sem könnyű, de nem tanulságmentes feladat. Először is a kutatás-fejlesztés-innováció finanszírozása a V4 országokban még sem a támogatási összegekben, sem a módszerekben nem érte el a fejlett nyugat-európai országok színvonalát. Szerencsés módon Magyarországon és Szlovákiában megkezdődött a projektben folyó biztonsági kutatások és tervezés állami finanszírozása. Ezen túlmenően egy átfogó regionális projekt (ami sajnos még nagyon

ritka) sok lehetőséget ad a K+F+I regionális szintű megújítására. Az ALLEGRO-projekt ebben a tekintetben szinte unikumot jelent. Másik szempont az, hogy az atomenergetikai K+F európai szintű finanszírozása csetlik-botlik. Alapvetően azoknak a kutatási infrastruktúráknak (például az ESFRI) a fejlesztését ambicionálják, amelyek kutatócsoportok egész sorának számára lehetővé teszik világszínvonalú alapkutatási eredmények elérését. Ez természetesen helyeselhető, ugyanakkor tény, hogy Európa döbbenetesen lemarad a

világpiaci versenyben, például a nukleáris létesítmények piacán is. Az ALLEGRO-projekt hosszú távú terveit, azaz azt az elképzelést, hogy hogyan válhat a kutatóintézetek által vezérelt, a V4 országok és az EU által finanszírozott kutatás-fejlesztési projektből egy nagyipari fejlesztés kiindulópontja, az Európai Bizottság is nagy figyelemmel kíséri.

Kulcsszavak: üzemanyagciklus, gyorsreaktorok, fenntartható fejlődés, energiatermelés, reaktor-technológia

HIVATKOZÁSOK

- Gadó János (2016): Safety of the Gas Cooled Fast Reactor. In: *Safety of Generation IV Reactors*. IAEA Vienna (megjelenőben)
- Hózer Zoltán (2013): Üzemanyagciklus, fűtőelemviselkedés a reaktorban. In: Elter József – Gadó J. – Holó E. – Lux I.: *Az atomreaktorok biztonsága*. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest
- Hózer Zoltán (2016): A kiegészített üzemanyag jellemzői és feldolgozása. *Magyar Tudomány*. e cikkgyűjtemény 534. oldalán
- IRSN (2014): *Review of Generation IV Nuclear Energy Systems*, IRSN Report • <http://www.irs.fr/EN/>

- [newsroom/News/Documents/IRSN_Report-GenIV_04-2015.pdf](http://www.irs.fr/EN/newsroom/News/Documents/IRSN_Report-GenIV_04-2015.pdf)
- SNE-TP (2007): *The Sustainable Nuclear Energy Technology Platform*. EURATOM EUR 22842 • https://ec.europa.eu/research/energy/pdf/sne-tp_vision_report_eur22842_en.pdf
- Szieberth Máté (2016): A nukleáris üzemanyagciklus zárásának lehetőségei. *Magyar Tudomány*. e cikkgyűjtemény 541. oldalán
- URL: *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050*. IAEA RSD-1/32, 2012 • http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/IAEA-RDS-1-32_web.pdf



NUKLEÁRISÜZEMANYAG-CIKLUS – AZ ENERGIAPOLITIKAI PERSPEKTÍVA

Aszódi Attila

a paksi atomerőmű kapacitásának fenntartásáért felelős kormánybiztos, Miniszterelnökség, egyetemi tanár, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézet

Az MTA Környezettudományi Elnöki Bizottság 2015. október 1-i rendezvénye kiváló lehetőséget teremtett a nukleárisüzemanyag-ciklus vizsgálatával, kutatásával kapcsolatos hazai eredmények, valamint a szakcégek álláspontjainak összevetésére. A téma rendkívül aktuális, hiszen éppen 2015-ben készült el a kiégett üzemanyagok kezelésével kapcsolatos nemzeti politika és az erre épülő nemzeti program, amelyet hazánk az Európai Bizottságnak is benyújtott.

A nukleáris üzemanyag speciális energiaforrás, amelyre hosszú távon építhetünk. Az üzemanyagciklus zárásával, gyors neutron-spektrumú reaktorok rendszerbe illesztésével sok száz évre biztosíthatjuk a villamos energia alaperőművi (ún. *base load*) előállítását széndioxid-kibocsátástól mentesen. Ehhez – ahogy az MTA fórumán elhangzott – negyedik generációs gyorsreaktorokra is szükség lesz. Ez a technológia nem előzmények nélküli: az atomenergia ipari léptékű kifejlesztése során több országban készültek gyors neutronspektrumú reaktorok. Franciaországban például 1973 és 2010 között működött a 130 MWe teljesítményű nátriumhűtésű Phenix reaktor (rendelkezésre állása 46% volt), 1986 és 1998 között volt üzemben az 1200 MWe teljesítményű, szintén cseppfolyós nátriummal hűtött Super-Phenix reaktor (rendelkezésre állása

9% volt). Az orosz BN-600-as nátriumhűtésű gyorsreaktor, a Belojarszk-3 1980 óta mind a mai napig működik (névleges teljesítménye 560 MWe), és a teljes élettartamra vonatkoztatott rendelkezésre állási tényezője 74,6%.¹ A gyorsreaktorok technológiája nyilvánvalóan komplikáltabb, mint a könnyűvíz-hűtésű reaktoroké (tekintettel a speciális kezelést és egyéb biztonsági megfontolásokat igénylő hűtőközegre és a magas teljesítménysűrűségre), ugyanakkor a fent említett energetikai reaktorok és egyéb kísérleti reaktorok révén számos tapasztalat gyűlt össze az elmúlt évtizedekben ezen a területen. Kiemelendő tehát, hogy – ellentétben a fűziós reaktorokkal, amelyek több évtizedre vannak a működő demonstrációs reaktortechnológiától, és még messzebb a kereskedelmi üzemeltetéstől – a gyorsreaktorok működtetésére több példa is van, és azt is tudjuk, hogy a gyorsreaktoros technológia képes villamos energiát termelni, miközben az üzemanyag-hasznosításának hatásfoka sokkal magasabb, mint az egyedül könnyűvízes reaktorokat alkalmazó üzemanyagciklus esetében.

Nagyon fontos kiemelni, hogy immár az Amerikai Egyesült Államok és Kína is beszállt a CO₂-mentes világért folytatott küzdelemben:

¹ Adatok forrása: <https://www.iaea.org/PRIS>

2014 novemberében aláírt közös megállapodásukkal hozzájárulva a maximum 2°C-os globális hőmérséklet-emelkedési cél (a légköri CO₂-koncentráció 450 ppm-ben történő maximalizálásának) megvalósításához. Ma tehát elmondható, hogy nemcsak az Európai Unió szintjén, de globálisan, világszinten is harcolunk a CO₂-kibocsátás csökkentéséért, a globális felmelegedés megfékezéséért. Az energetika feladata, hogy ehhez CO₂-mentes technológiákat bocsásson a társadalom rendelkezésére, amely az atomenergia formájában rendelkezésre is áll mint karbonmentes áramot nagy mennyiségben, base-load termelőként előállító technológia. Bár a megújuló energiaforrásokra nagy szükség van, és a fejlődés ezen a területen is tovább fog folytatódni, a klímaváltozás elleni harcot egy csupán megújuló energiaforrásokra támaszkodó villamosenergia-rendszer segítségével nem lehet sikeresen megvívni, tekintettel arra, hogy az áram nagy mennyiségű, évszakokon is átívelő tárolására mind a mai napig nincs megfelelő megoldás.

A kiégett fűtőelemek kezelése kapcsán a reprocessálásnak, a továbbfejlesztett (pl. MOX) üzemanyagok gyártásának és a gyorsreaktoroknak nagyon fontos szerepük lehet a jövőben. A kérdést nem lehet statikusan, csupán a jelenlegi árviszonyokat és gazdasági helyzetet figyelembe véve vizsgálni. Sokan esnek ebbe a hibába, például azzal érvelnek a paksi új blokkok ellen is, hogy a jelenlegi árviszonyok mellett az gazdaságtalan lenne, figyelmen kívül hagyva azt a tényt, hogy egy ilyen hosszú távú befektetés megtérülését nem a mai, hanem a tíz-húsz év múlva érvényes üzemanyag- és villamosenergia-árakkal, a majdani piaci viszonyok mellett kell megítélni. A gyorsreaktorok gazdaságosságát is a jövőben érvényes viszonyok fogják meghatá-

rozni, az alkalmazásuk lehetőségét nyitva kell hagyni, és a fejlesztésüket nem szabad megszakítani. Ez tulajdonképpen befektetés a jövőbe.

A villamosenergia-piac jelenleg látható árai nagymértékben torzítottak, aminek az az alapvető oka, hogy a megújuló energia-hordozók hasznosításához nagy támogatások társulnak. Csak Németországban éves szinten 20 milliárd eurót meghaladó támogatást fordítanak az összes megtermelt áram negyedét kitevő megújulókra, miközben a piacon értékesített összes (minden forrásból származó) áram összes tőzsdei értéke szintén kb. 20 milliárd euró nagyságú. Ez a teljes piaci volumennel azonos támogatási mérték nagyban torzítja a piacot, valójában nem is energiapiac, hanem támogatási piac működik, amelyben a rendszer hosszú távú fenntarthatósága, vagy éppen az ellátásbiztonság sokadrendű kérdéssé vált. A szén-dioxid-kvóták alacsony ára sem maradhat a mostani szinten, itt is jelentős ár- és költségnövekedés várható. A gyorsreaktorok piaci értékelésénél pedig az áram értékesítési ára mellett megjelenhet a feldolgozott kiégett üzemanyag „el nem helyezéséből” származó megtakarítás.

Úgy gondolom, hogy Magyarországon a hetvenes évektől kezdődően nagyon komoly nukleáris energetikai tudásbázis alakult ki, rendelkezünk azzal a szakmai felkészültséggel, amelynek segítségével komoly szerepet vállalhatunk a negyedik generációs reaktorok fejlesztésében. Ha ezt a visegrádi négyek együttműködésével végezhetjük, az egy olyan lehetőség, amelyet most és a jövőben is meg kell ragadni. Ez a kérdés azért is fontos, mert a fiatalokat nagyon vonzza a téma, a szakemberutánpótlás biztosítása szempontjából is kiemelt jelentősége lehet a gyorsreaktoros témák magyarországi kutatásának. A fentiekén túl rendkívül fontos, hogy értsük, mi zajlik

ezen a területen a nagyvilágban, ehhez is elengedhetetlen a témakör értő művelése. Csak biztatni tudom a magyar nukleáris szakértői intézeteket, hogy a jövőben intenzíven foglalkozzanak a nukleárisüzemanyag-ciklus

zárásához és a 4. generációs reaktorokhoz kapcsolódó tématerületekkel.

Kulcsszavak: *energiapolitika, gyorsreaktor, üzemanyagciklus, megújuló, klímaváltozás*



Tanulmány

EURÓPA TÍZÉVES TUDOMÁNYOS ÚTITERVE AZ ESFRI ROADMAP 2016 ÉS MAGYAR KAPCSOLÓDÁSAI

Szabó István

főosztályvezető, kormányzati ESFRI-delegált,
Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal
istvan.szabo@nkfi.gov.hu

Lévai Péter

kutatóprofesszor, tudományos ESFRI-delegált,
MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont
levai.peter@wigner.mta.hu

2016. március 8-án a Holland Tudományos Akadémia amszterdami székházában hivatalosan is bemutatásra került az *ESFRI Roadmap 2016* című kiadvány, amely összefoglalja az Európában található, nagyméretű, nemzetközi együttműködésben megépítendő vagy már építés alatt lévő tudományos kutatási infrastruktúrákra vonatkozó tízéves európai fejlesztési stratégiát. Cikkünk első fejezetében röviden ismertetjük az európai közös kutatási infrastruktúra fejlesztési útitervének történetét, az ESFRI misszióját, a stratégiaalkotás legfontosabb mozzanatait és az új roadmap eredményét. Ez a bevezetés alapozza meg a második fejezetet, amelyben bemutatjuk az elmúlt évek magyar kapcsolódási pontjait. Jelenleg a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFI Hivatal) vezetése

mellett folyamatban van egy tudománypolitikai munka, amelynek eredménye rövidesen a *Magyar Nemzeti Útiterv* (Hungarian National Roadmap) megszületése lesz.

Az ESFRI Roadmap története és az ESFRI Bizottság munkájának eddigi eredményei

A Kutatási Infrastruktúrák Európai Stratégiai Fórumát (ESFRI – European Strategy Forum for Research Infrastructures) 2002-ben az Európai Bizottság (EC – European Council) hozta létre. Az ezredforduló idején zajló világgazdasági folyamatok kikényszerítették, hogy az európai államok összehangolják a nagyméretű, nemzetközileg jegyzett kutatási infrastruktúráik fejlesztési terveit. Egyúttal felmerült annak az igénye, hogy a hagyományos élő és élettelen természettudomány, valamint társadalom- és humán tudományok területei helyett új diszciplínák mentén, úgy mint energetika, környezetvédelem, egészség

¹ A rövidítések feloldása és rövid magyarázata a cikk végén található.

és táplálkozás, fizikai és mérnöki tudományok, társadalom és kultúra, valamint információtechnológia kerüljenek megfogalmazásra az infrastruktúra-fejlesztési igények. A tervezés során a tagországoknak szembe kellett nézniük azzal a ténnyel, hogy a finanszírozási forrásaik és a rendelkezésükre álló magasan képzett kutatói (humán) erőforrásaik igencsak végesek, azok további, növekvő arányú, gyors bevonására, újabb megújabb infrastruktúrák létrehozására csak indokolt esetben kerülhet sor. Ezért az új, modern berendezések megépítésénél egyrészt fontossági sorrendet kell felállítani, másrészt szükségessé vált a régi infrastruktúrák rövid határidővel történő bezárása. Ezek a létesítménybezárások azonban jelentős kockázatot jelentenek, mert sokszor kétséges, hogy az így elvesztett kutatás-fejlesztési potenciál azonnal pótolható-e egy új, az implementációs vagy akár már konstrukciós fázisában lévő berendezéssel. Hasonló kockázatot jelent a ráfordítások finanszírozása is, amely az érdekelt országok közötti együttműködés nélkül számos esetben (főleg természettudományos területen) lehetetlen lenne. Ezért nemzetközi szinten átgondolt, összehangolt tervezési és építési tevékenységet kell végezni az új infrastruktúrák kialakításánál. Világossá vált, hogy a részt vevő országoknak fókuszálniuk kell anyagi forrásaikat, hogy ténylegesen világszínvonalú, az adott kutatási területen meghatározóvá váló kutatási berendezések, infrastruktúrák jöjjenek létre, s ezzel biztosítsák az európai kutatások élvonalban való maradását. Az ESFRI ezen összehangoló tevékenység elősegítésére jött létre, mintegy helyettesítve egy közös európai tudományügyi minisztérium idevágó munkáját. A korábban és most létrejött útitervek bizonyítják, hogy az ESFRI képes megvalósítani ezt a missziót.

Az ESFRI Bizottságban, melyhez Magyarország 2005-ben csatlakozott, minden EU-tagállam tudományügyi főhatóságának megbízott munkatársával képviselteti magát.² Az ESFRI munkájában az EU-tagországok küldöttei mellett megfigyelő országok is részt vesznek (például: Svájc, Norvégia, Szerbia). A bizottság évente négyszer ülésezik, legtöbbször Brüsszelben.

Az ESFRI Bizottság 2002-es indulása után nagy lendülettel látott hozzá missziójának teljesítéséhez. 2006-ra elkészült az első útiterv (*ESFRI Roadmap 2006*), amit 2008-ban és 2010-ben további projektekkel bővítettek. Már 2010-ben világossá vált azonban, hogy az útiterv üteme erőltetett. Az *ESFRI Roadmap 2010*-en negyvennyolc beruházás szerepelt, ezeknek jelenleg kb. 60%-a látszik ténylegesen megvalósíthatónak. Sok projekt átalakult, néhányánál pedig nem történt érdemi előrelépés az elmúlt évek során. A nehézségek fő oka a tagországokban 2008 és 2010 között fellépő, s azóta is ható gazdasági visszaesés volt. Másképp fogalmazva: miközben az adott ESFRI-projektek indításának tudományos szükségszerűsége vitathatatlan volt, a megvalósításhoz szükséges anyagi forrásokat a támogató tagországok nem tudták magas prioritással, az előre eltervezett ütemezésben biztosítani – összhangban egyébként azzal a világszintű trenddel, ami a kutatási infrastruktúrák finanszírozásában lezajlott (Hallonsten – Heinze, 2012). Ezért is akadt meg az útiterv további bővítése, s helyett kezdetét vette egy hatéves munka, amely új alapokra helyezte

² Kormányzati delegáltak: Jároli Erika (2005–2010), Marjay Márta (2011–2014), Szabó István (2014–). A kormányzati delegált munkáját egy tudományos küldött is segítette, akit az MTA jelölt ki Falus András (2005–2009) majd Lévai Péter (2010–) személyében.

az ESFRI Roadmap frissítését. A 2016-os verzió elkészítését az alábbi szempontok vezérelték:

- a 2006-ban az útitervre került beruházási projektek lekerülnek a listáról. Ha az elmúlt tíz év alatt megvalósításra kerültek, vagy közel állnak a befejezéshez, akkor átkerülnek a most létrehozott ESFRI Mérföldkövek (*Landmark*) kategóriába – az EC így továbbra is kiemelt figyelemmel kíséri őket, és ezzel az új ESFRI-státussal segíti működésük gyors felfutását. A láthatóan megvalósítási nehézségekkel küzdő infrastruktúra-építő projektek lekerülnek a listáról, helyüket majd új tervek foglalják el.
- az új, 2016-os útiterv legfeljebb 25 infrastruktúra-projektet tartalmazhat. A bizottság ezért felülvizsgált minden, 2008-ban és 2010-ben felkerült projektet, valamint limitálta az elfogadott új projektek számát;
- a következő, 2018-as útiterv elkészítése 2016 őszén kezdődik el. A 2008-ban felkerült tervek az ESFRI Projektek közül mindenképp lekerülnek, s vagy átkerülnek a Landmark kategóriába, vagy törlik őket. Lehetséges újabb tervekkel pályázni, de a projektek huszonötös határszáma továbbra is betartásra kerül.
- új infrastruktúra tervének benyújtását csak akkor fogadja el a bizottság, ha legalább három ország tudományügyi főhatósága írásban támogatja a megvalósítását, és legalább egyikük rendelkezik az anyagi hozzájárulással. Természetesen további országok vagy azok tudományos közösségei is támogathatják az infrastruktúra megvalósítását, de ez nem helyettesítheti a három vezető ország kötelezettségvállalását.

Az internetről letölthető 210 oldalas, három nagy részből álló *ESFRI Roadmap 2016* elké-

szült. Ehhez az ESFRI először megalkotta a fentebb összefoglalt alapelveket, majd meghirdették a pályázatot az új helyekre. Párhuzamosan a különböző területeket képviselő albizottságok minősítették a már listán lévő projektek eddigi haladását, majd ezt követően (a tapasztalatok ismeretében) részletesen elemezték a benyújtott projektjavaslatokat. Ezt az aprólékos, de nagyon fontos tevékenységet tudományterületenként külön-külön végezték a különböző munkacsoportok, akik sok esetben külső szakértőket is bevontak. Amszterdamban egy hatéves, sokszor átgondolt és újraértelmezett munka ért véget az *ESFRI Roadmap 2016* kihirdetésével.

Az *ESFRI Roadmap 2016* kiadvány huszonegy ESFRI Projektet ismertet, amelyek közül hazánk az E-RIHS kulturális örökség projektben tagállam, az ACTRIS-, DANUBIUS-RI-, EPOS-, ERINHA-, EU-OPENSREEN-, EURO-BIOIMAGING-, EST-projektekben pedig érdeklődő/támogató résztvevő. A huszonegy projekt megvalósításának becsült összege kb. 2 Mrd euró, ami egy visszafogott vállalat, ha azt tekintjük, hogy a 2006-os Roadmap listájáról lekerült sikeres projektek teljes megvalósításához kb. 10 Mrd euróra lenne szükség. E megvalósult vagy megvalósítás alatt lévő beruházásokat az ESFRI Landmark kategóriában találhatjuk meg.

Az *ESFRI Roadmap 2016* a huszonegy projekt mellett huszonkilenc megvalósult beruházást emelt ki az ESFRI Landmark kategóriában. Ezek közül hazánk tagállam az ELI-, ESS ERIC-, EU XFEL- és a Hi-Lumi LHC-projektekben. A LifeWatch, ECRIN-ERIC-, ESRF-EBS-, ILL-20/20-, ESS Social-, SHARE ESS- és PRACE-projektek érdeklődő/támogató résztvevőként jelzik hazánkat, ami dokumentált, intézményi szintű elkötelezettséget jelent. Itt kell megemlítenünk, hogy

kormányzati oldalról kiadott hivatalos csatlakozási dokumentum csak a „tagállam” kategóriában létezik, azaz az E-RIHS, az ELI, az ESS ERIC, az EU XFEL és a HI-Lumi LHC esetében. A többi („érdeklődő/támogató résztvevő”) esetében a csatlakozásokra vonatkozó stratégiáját a jelenleg összeállítás alatt lévő *Magyar Nemzeti Útiter*v (Hungarian National Roadmap) fogja tartalmazni, amelyre a Pálkás József, az NKFI Hivatal elnöke által létrehozott Nemzeti Kutatási Infrastruktúra Bizottság tesz javaslatot. A *Magyar Nemzeti Útiter*v előreláthatóan 2016 közepére véglegesítődik, egyúttal irányt mutat a hazai erőfeszítéseknek az *ESFRI Roadmap 2016* kiadványban kiemelt infrastruktúrák ismeretében.

Az *ESFRI Roadmap 2016* kihirdetése megtörtént, de a bizottság már a jövőt tervezi. Eszerint 2016 szeptemberében Fokvárosban, az ICRI 2016 Konferencián kerül sor arra a bejelentésre, amellyel elindul egy következő kétéves periódus, amely az *ESFRI Roadmap 2018* kiadvány megjelentetésével zárul majd. Az új útitervhez a 2008-ban elindított beruházások felülbírálatán és a beküldött új javaslatok megtárgyalásán keresztül vezet az út, beépítve az eljárásba az *ESFRI Roadmap 2016* megjelenése után szerzett tapasztalatokat. Már tárgyalás alatt van az *ESFRI Roadmap 2020* kiadása is. Az ESFRI-listákon szereplő infrastruktúrák egyértelműen és döntően meghatározzák az európai kutatás-fejlesztés főbb irányait, ezért a hazai útiterv kialakításában mindenképp figyelembe kell vennünk ezeket a dokumentumokat. Fontos kérdés, hogy tudjuk-e egyáltalán befolyásolni az összeurópai stratégiát, ezzel teret és lehetőségeket nyerve a magyar kutatás-fejlesztés szereplői számára – ennek előfeltétele a *Magyar Nemzeti Útiter*v elkészülte.

2. A magyarországi kutatási infrastruktúrák szerepe és nemzetközi beágyazottságuk

A *Magyar Nemzeti Útiter*v elkészítése az *ESFRI Roadmap 2016* kihirdetését követően láthatóan égetőbb, mint valaha. A hazai kutatási infrastruktúrák számba vétele és fejlesztési igényeiknek felmérése, továbbá ebből kiindulva egy nemzeti kutatási infrastruktúra fejlesztési program kialakítása alapvető tudomány- és innovációpolitikai érdek.

Az ESFRI hosszú idő óta ösztönzi az Unió tagországait, hogy készítsék el saját, nemzeti kutatási infrastruktúra útitervüket (roadmap-jüket). Jelenleg szinte minden európai ország rendelkezik ilyennel, jelentős részük 2014–2015 folyamán vagy véglegesítette, vagy frissítette útitervét, éppen az *ESFRI Roadmap 2016* meghirdetésével összhangban.

Magyarország az útiterv elkészítésével eddig adós maradt, nem elsősorban az ESFRI, sokkal inkább a hazai kutatói közösség felé. Az adósság nem újkeletű, már egy 2007-es kormányhatározat rendelkezett arról, hogy a kutatási infrastruktúrák fejlesztésének stratégiai útiterv elkészüljön. A feladat megvalósítása 2008-ban kezdődött el a Nemzeti Kutatási Infrastruktúra Felmérés és Útiterv (NEKIFUT) projekt keretében, mely célul tűzte ki mind a kutatási infrastruktúrák felmérését és azok nyilvános, interneten elérhető adatbázisának létrehozását, mind a *Magyar Nemzeti Útiter*v elkészítését. A projekt első fázisában, amely 2011 végéig tartott, mintegy 438 kutatási infrastruktúra adatai kerültek összegyűjtésre és publikálásra nyílt, kereshető formában. A kutatási infrastruktúrák területén a projekt olyan definíciót alkalmazott, amely lehetővé tette, hogy a „modern” értelemben vett kutatási infrastruktúrák (anyagbankok, adatbankok, információs rendszerek stb.) is

a felmérés és útiterv részei lehessenek, összhangban az európai és globális trendekkel. A projekt lényeges eleme volt az ún. Stratégiai Kutatási Infrastruktúrák (SKI) cím létrehozása is, amelyet hatvanhárom hazai kutatási infrastruktúra nyert el, egyúttal a létrejött adatbázis alapot adott arra, hogy elkészüljön a nemzeti kutatási infrastruktúra útiterv. Az államigazgatásban bekövetkezett változások azonban, melyek a tudománypolitika területét is érintették, az útiterv létrehozását erősen lelassították.

Az útiterv létrehozása 2013 végén került ismét elérhető közelségbe – Magyarország Intelligens Szakosodási Stratégiájának (Smart Specialisation Strategy – S3) készítésével összhangban –, amikor létrejött a tárcaközi kutatási infrastruktúra munkacsoport, melynek feladata volt, hogy a külföldi kutatási infrastruktúrákban történő hazai részvételre javaslatot tegyen. A munkacsoport a Nemzetgazdasági Minisztérium, valamint a Nemzeti Innovációs Hivatal koordinációjában elkészítette a javaslatot, amely rangsorolta azon infrastruktúrákat, melyekben Magyarországnak érdemes lenne részt vennie. Az S3-hoz kapcsolódóan előálló új feladatok miatt a javaslat végül nem került a kormány elé, így a külföldi infrastruktúrákban történő részvételről a döntés eltolódott.

Ezzel párhuzamosan elindult a NEKIFUT regiszterének frissítése, ami 2014 folyamán zajlott le. A frissítés eredményeként mintegy 361 kutatási infrastruktúra adatai kerültek frissítésre, melyek közül száznégyszáz infrastruktúra kapott „stratégiai” minősítést. A projekt céljaként kitűzött útiterv-et szakpolitikai oldalról megtámogatandó, ugyanez év végén jött létre a kutatási infrastruktúrákhoz kapcsolódó, korábbi helyzetelemzéseket, szakpolitikai ajánlásokat szintetizáló és egységes

keretbe foglaló dokumentum *Kutatási infrastruktúrák Magyarországon* címmel, amely kormányhatározatban került elfogadásra. A dokumentum elfogadásában kulcsszerepe volt az ekkor létrejött Nemzeti Kutatási Infrastruktúra Bizottságnak, mely a tudományos élet és az államigazgatási intézmények képviselőiből tevődik össze. A benne foglalt szakpolitikai irányvonalak a jövőbeli tervezéshez erős alapot biztosítanak, ugyanakkor a tudományos közösség támogatását is bírják. A dokumentumban megfogalmazott szakpolitikai ajánlások tényalapú képet festenek a kutatási infrastruktúrák helyzetéről, valamint lefektetnek néhány olyan alapvetést, melyek a jövőbeli döntéshozatalban kulcsszerepet játszanak. Egyik lényeges szempont, hogy a tudományterületekhez köthető infrastruktúrákat tudományterületi bontásban kell vizsgálni, például az élő és élettelen természettudományokat nem lehet egymással összevetve értékelni, összhangban azzal, hogy az infrastruktúrák és a vállalati, kutatói igények tudományterületenként jelentősen eltérnek egymástól. Ugyanígy fontos eleme annak rögzítése is, hogy az egyes tudományterületeken jelen lévő infrastruktúrák forrásigénye eltérő, vagy akár a nyitottság mint kulcsszempont megjelenése az infrastruktúrák használatában.

A dokumentumban megfogalmazott fejlesztési irányok és a külföldi részvétel kérdése összhangban állnak az európai trendekkel, amennyiben a tudományos kiválóság és a hálózatosodás mellett lényegesnek tekintik a társadalmi-gazdasági hasznosulást is, egyidejűleg megfogalmazódik valamilyen irányú értékelési igény is a részvételek hasznosságát illetően. Felsorolásra kerülnek – nem a kizárólagosságra törekedve – azok az infrastruktúrák is, melyekhez kormányzati oldalról első-

sorban érdemes megvizsgálni a csatlakozást. A dokumentum átfogó jellege, illetve a kormányzati szándék hosszú idő után történő megjelenése eredményezhette azt, hogy a kutatói közösségben egy ideig a dokumentumot mint a nemzeti útitervet tekintették – bár ez semmilyen formában nincs jelezve benne. Helyesebb úgy tekinteni rá, mint a *Magyar Nemzeti Útitervet* megalapozó stratégiai dokumentumra, amely egyidejűleg az uniós források elosztására és a kutatási infrastruktúrák általános jövőbeli fejlesztésére is tartalmazza a szakpolitikai irányokat.

A fenti folyamat eredményeként lehetőség nyílt a továbblépésre, ami lehetővé tette a külföldi kutatási infrastruktúrákhoz történő csatlakozási javaslatok és a részvételek új alapokra helyezését. A múltban a csatlakozások sok esetben nem tényekre alapulva történtek, mivel a megfelelő adatok nem is álltak rendelkezésre a döntéshozatalhoz. Ugyanakkor a sokszor hivatkozott nagybetűs, „EURÓPAI” döntéshozatali rendszerekben sem más a helyzet, hiszen az ott megvalósuló nagyprojektek esetében, mint „például a CERN, ESO, ILL, ESRF vagy az XFEL esetében a politikai folyamat zavaros és átláthatatlan volt”, de a felsoroláshoz az ESS-t is hozzátehetjük (Hallonsten, 2014) – Magyarország mindegyikben érdekelt tudományos (esetenként kormányzati) oldalról. Az S3-hoz kapcsolódó stratégiai dokumentum elfogadása, illetve az időközben lezárult újabb kutatási infrastruktúra felmérés egyidejű elkészülte szerencsés időpontban zajlott le: az ESFRI Roadmap frissítéséhez kapcsolódóan 2015 tavaszán az ESFRI-projektekhez történő hazai csatlakozási javaslatok megítélésében kulcsszerepe volt a stratégiai dokumentumnak. 2015 őszén elindult egy újabb felmérés, amely azonosítani kívánta a hazai intézmények pontos körét

az egyes külföldi infrastruktúrákhoz való csatlakozás vonatkozásában. Az intézmények részletes adatlapjain a tudományos kiválóság mellett lényeges új szempontként jelent meg a korábban szinte nem vizsgált kutatói utánpótlás kérdése, illetve az egyes külföldi infrastruktúrákba történő természetbeni beszállítások lehetősége is. Természetszerűen a tagdíj kérdése is lényeges, főképp, mivel a nemzeti trendek is azt mutatják, hogy a jelenlegi külföldi infrastruktúra-részvétel finanszírozási rendszere általában véve nem fenntartható. A jövőre nézve e téren kétfajta út tűnik járhatónak. Egyrészt, a kisebb részesedéssű országok által létrehozott, konzorciális alapon történő tagdíjfizetés (például az ESRF-tagdíjat hosszú ideig az ún. CentralSync konzorcium tagjaként fizettük Csehországgal és Szlovákiával közösen) másrészt a kutatási infrastruktúrákba történő természetbeni beszállítások arányának növelése. Ez utóbbi garantálja a szakpolitikai oldal számára egyrészt a nemzeti gazdaság *high-tech* K+F-termékeinek, szolgáltatásainak piacát, valamint a tagdíj egy része, ha áttételesen is, de végül nemzeti oldalon jelenik meg. A természetbeni beszállítás nyilvánvalóan a még építési fázisban lévő nagy infrastruktúráknál működhet, míg a tagdíjfizetés a már működő, Magyarország számára fontos infrastruktúrák esetében meghatározó.

A 2015 őszén lezajlott felmérésre beérkezett külföldi infrastruktúra-csatlakozási javaslatokat a Nemzeti Kutatási Infrastruktúra Bizottság három kategóriába sorolta: élő természettudományok, élettelen természet-tudományok, társadalom- és humántudományok. A csatlakozási javaslatok összeállításánál az ESFRI Roadmaphez való illeszkedés kulcsszerepet játszik, így azok az infrastruktúrák, melyek a Roadmapen, akár mint Land-

mark, akár mint Projekt szerepelnek, előnyt élveznek az értékelésnél. A bizottság javaslata alapján történő döntést követően az NKFI Hivatal megteszi a szükséges intézkedéseket ahhoz, hogy a kiválasztott kutatási infrastruktúrákkal kormányzati oldalról is megtörténjen az egyeztetés a csatlakozásról, valamint ezzel egyidejűleg gondoskodik a döntések társadalmi kommunikációjáról is, hiszen a tudományos eredmények, részvételek megismertetése a széles közönséggel kulcsfontosságú. E téren érdemes Magyarországnak is olyan tudatos kommunikációt folytatnia, amelyet például az European Spallation Source (ESS) esetében a svédek, akiknél ez döntő szerepet játszott a projekt társadalmi elismertségében (Agrell, 2012).

A csatlakozási tárgyalások kulcselemét fogja képezni az épülő infrastruktúrák esetében a természetbeni beszállítás lehetősége – amelyre jó példaként az említett ESS-beszállítások (URL1) kiemelkedő hazai részvétele szolgál – elsősorban a hazai vállalkozások számára. A meglévő infrastruktúrákhoz történő csatlakozásnál ezen túl egyrészt a konzorciális csatlakozás lehetőségei kerülnek feltérképezésre, illetve a természetbeni beszállítás FTE-ben történő finanszírozása, ahol ez lehetséges. Az új belépések a jövőben, ahol csak lehetőség van, olyan formában valósulnak meg, hogy a külföldi kutatási infrastruktúra-részvétel bizonyos időközönként – tervezetten négy vagy öt évente – felülvizsgálatra kerül és amennyiben Magyarország számára a részvétel valamely oknál (akár tudományos, akár pénzügyi) fogva nem kedvező, a kilépés lehetőségét biztosítani kell a külföldi infrastruktúrából. A tárgyalások egyik fontos eleme, hogy az esetleges kilépés ne járjon indokolatlanul nagy járulékos veszteséggel – jelenleg több olyan infrastruktúrában is részt veszünk,

amelyekből a kilépés csak elméletileg lehetséges, olyan jelentős veszteséggel járna anyagi és tudománydiplómiai oldalról.

A csatlakozási javaslatok értékelésének egyik kiemelt szempontja a tudományos teljesítmény mérése mellett a kutatói utánpótlás meglétének vizsgálata. A belépés mérlegelésénél ez az adat kulcsszerepet játszik, hiszen a csatlakozásra javasolt infrastruktúrák mindegyike tudományos vonatkozásban kellően magas szintű ahhoz, hogy Magyarország belépése indokolt legyen, mégis tisztában kell lennünk azzal, hogy melyek ezek közül azok, amelyekhez több kutatót tud hozzáférni, ezáltal a tagdíjat jobban kihasználni. Azokról az infrastruktúrákról sem kell ettől függetlenül „lemondani”, amelyek kormányzati szinten jelenleg nem kerülnek támogatásra – itt megoldás lehet az egyedi kutatói pályázat, vagy más, alternatív finanszírozás, ami az igényeket anyagiilag is jobban fedi, mint az általában jelentősebb összegű és erős elkötelezettséget jelentő tagdíj.

A csatlakozásokra vonatkozó döntés után lehetővé válik, hogy elkészüljön a *Magyar Nemzeti Útiterv* is. A roadmapen várhatóan két típusú infrastruktúrát érdemes majd szerepeltetni. Az egyik kategóriát azok alkotják, amelyek a külföldi infrastruktúrákban való részvétel miatt fontosak, akár mint egy hálózat tagjai, akár mint a külföldi infrastruktúra használatához szükséges hazai infrastruktúrák. Az ESFRI Roadmap és az ahhoz kapcsolódó hazai kapcsolódásokra vonatkozó döntés erősen determinálja a roadmapen szereplő infrastruktúrák jó részét – Magyarország az európai kutatási térség részét alkotja, így egyértelmű, hogy elsősorban európai infrastruktúrákban kell gondolkodnunk. A másik kategóriába azokat érdemes sorolni, amelyek valamilyen nemzeti jelleggel rendelkeznek, és

máshol nem elérhetőek, és ezzel együtt magyar vonatkozásban fontosak (pl. adatbankok). Az útiterven szereplő majdani infrastruktúrák száma (a külföldi roadmapek tapasztalatait is figyelembe véve) legfeljebb huszonöt-harminc darab lehet, melyeket szintén folyamatosan felül kell vizsgálni a külföldi infrastruktúra-részvételekkel összhangban is.

A külföldi infrastruktúra-részvételekhez és a *Magyar Nemzeti Útiterv*hez kapcsolódó felmérés és értékelés tervezetten két évente történne meg. Ehhez az útiterv megjelenésével együtt ki kell alakítani egy transzparens szempontrendszert, amelyben a tudományos hatások mellett megjelennek olyan szempontok is, mint az innovációs vagy a társadalomra, gazdaságra gyakorolt hatások. Ez utóbbi két szempont újfajta kihívások elé állítja az útiterven majdan szereplő infrastruktúrákat számos szempontból, melyekre érdemes röviden kitérni. A korábban világszerte elterjedt nézet, hogy a kutatási infrastruktúrákra költött ráfordítások eredményét nem igazán vizsgálták, mostanra megváltozott, ami az ESFRI Roadmapre is közvetlen hatást gyakorolt. A társadalom számára fontos bemutatni, hogyan hasznosulnak a kutatási eredmények, még akkor is, ha egyes tudományterületeken ez a hasznosulás adott esetben akár tizenöt-húsz évbe is telhet (Eagar, 1995). Minden kutatási infrastruktúrához kötődő újabb keletű dokumentum lényeges szempontként említi az ipari kapcsolatokat és a társadalmi hatást, éppen a társadalmi igényekre reagálva – igaz, hogy ezek mértékét vagy meglétét az esetek többségében tényadatokkal nem lehet alátámasztani. A mérhetőség iránti igény, annak azonosítása, hogy adott ráfordítás milyen hasznot hoz (ezalatt nemcsak gazdasági, hanem tudományos, társadalmi hasznot is értve) egyre erősödik.

A helyzetben egy olyan értékelési rendszer bevezetése változtathat, amely megfelelő adatszolgáltatásokon alapulva lehetővé teszi annak a kölcsönösen előnyös állapotnak az elérését, amelyben a szakpolitika és a kutatói közösség is világosan látja, hogy akár a külföldi infrastruktúrában való részvétel, akár a hazai infrastruktúra teljesítménye hogyan alakul. A kutatási infrastruktúrák területén több kezdeményezés indult arra, hogy miként lehet azokat értékelni, ugyanakkor ezek még meglehetősen kezdeti fázisban vannak (Horlings et al., 2012). Az értékeléshez kapcsolódó indikátorok Magyarországon tervezetten a fentebb is említett tudományos-gazdasági-társadalmi hatás mentén kerülnek kialakításra. Ehhez olyan, jelenleg rendelkezésre nem álló adatokra lesz szükség, mint például a külső vállalkozásokkal közös projektek értéke, résztvevőinek száma, az infrastruktúrát használó kutatók száma, fokozatot szerettek száma, vagy akár a sajtómegjelenések száma. Nyilvánvaló, hogy nem minden típusú infrastruktúra „piacosítható”, így a tudományterületenkénti megkülönböztetés az értékelésnél elengedhetetlen, amelynek szintén szükséges kialakítani a módszertanát.

A *Magyar Nemzeti Útiterv*, csakúgy, mint európai párja, az ESFRI Roadmap, nem egy, a tudományos közösség számára készülő „lista” tehát, hanem egy olyan élő dokumentum, amely az értékelési rendszer működtetésén keresztül követi a hazai kutatói igényeket. Ezzel egyidejűleg, ahol lehetséges, a gazdasági és társadalmi szempontokat is megjeleníti akár a természetbeni beszállításokon, akár a kommunikáción keresztül – ez utóbbi abban is jelentős segítséget nyújthat, hogy felkeltse a tudományos pálya iránti érdeklődést, ami szintén nem utolsó szempont. A kutatási infrastruktúrákra olyan egységekként

kell tekinteni, amelyek szerves részei a hazai és az európai innovációs rendszernek, egyfajta „hálóként” szolgálnak a rendszer különböző szereplőinek, legyenek azok kutatók, diákok, vállalkozások. A fenti folyamat eredményeként eljuthatunk oda, hogy e téren nem-

csak felzárkózunk, hanem utat is mutathatunk Európának.

Kulcsszavak: *Kutatási infrastruktúra, ESFRI Roadmap, NEKIFUT, Magyar Nemzeti Útiterv, S3*

IRODALOM

- Agrell, Wilhelm (2012): Framing Prospects and Risk in the Public Promotion of ESS Scandinavia. *Science and Public Policy*. 39, 429–438. doi: 10.1093/scipol/scso45
- Eagar, Thomas W. (1995): Bringing New Materials to Market. *Technology Review*. 98, 2, 42–49.
- ESFRI Strategy Report on Research Infrastructures – *ESFRI Roadmap 2016*. • https://ec.europa.eu/research/infrastructures/pdf/esfri/esfri_roadmap/esfri_roadmap_2016.pdf
- Hallonsten, Olof – Heinze, Thomas (2012): Institutional Persistence through Gradual Adaptation:

- Analysis of National Laboratories in the USA and Germany. *Science and Public Policy*. 39, 4, 450–463. doi: 10.1093/scipol/scso47
- Hallonsten, Olof (2014): Unpreparedness and Risk in Big Science Policy: Sweden and the European Spallation Source. *Science and Public Policy*. 42, 3, 415–426. doi: 10.1093/scipol/scuo64 • <http://spp.oxfordjournals.org/content/42/3/415.full.pdf+html>
- Horlings, Edwin – Gurney, T. – Somers, A. (2012): *The Societal Footprint of Big Science*. Rathenau Instituut, Den Haag
- URL: <http://nkfh.gov.hu/nemzetkozi-tevekenyseg/nemzetkozi-hirek/jelentes-magyar>

A CIKKBEN ELŐFORDULÓ RÖVIDÍTÉSEK FELOLDÁSA ÉS RÖVID MAGYARÁZATA:

- ERIC (European Research Infrastructure Consortium): Több európai helyszínen elosztott erőforrással rendelkező kutatási infrastruktúra működtetésére létrehozott jogi személyiség.
- „ESFRI Project” infrastruktúrák magyar tagsággal vagy támogató részvétellel:
- E-RIHS (European Research Infrastructure for Heritage Science): a legmodernebb eszközök és szolgáltatások hálózata kulturális és természeti örökségek vizsgálata, dokumentálása és megőrzése céljából. Magyarországi múzeumok, kutatóintézetek és anyagvizsgálati infrastruktúrák vesznek részt benne.
- ACTRIS (Aerosols, Clouds and Trace Gases Research Infrastructure): földfelszíni adatgyűjtő állomások hálózata a földi atmoszféra múltbéli, jelenlegi és jövőbeni viselkedésének jobb megértése céljából.
- DANUBIUS-RI (International Centre for Advanced Studies on River-Sea Systems): Európa legnagyobb folyóinak torkolatánál lévő állomásokból kialakított interdiszciplináris kutatási és innovációs hálózat a folyó–tenger kölcsönhatás vizsgálatára.
- EPOS (European Plate Observing System): a Föld szárazföldjeinek dinamikai viselkedését tanulmányozó nemzetközi hálózat, amely részletesen tanulmá-

- nyozza a földrengések, vulkánkitörések, cunamik, egyéb tektonikai instabilitások létrejöttét, dinamikai viselkedését.
- ERINHA (European Research Infrastructure on Highly Pathogenic Agents): az embereket megfertőző emberi és állati mikroszkopikus kórokozók tulajdonságait, azok terjedését, a fertőző betegségek közegészségügyi, társadalmi és gazdasági következményeit vizsgáló és elemző infrastruktúra-hálózat.
- EU-OPENSOURCE (European Infrastructure of Open Screening Platforms for Chemical Biology): az emberi, állati és növényi rendszerek sejt szintű befolyásolásra alkalmas kémiai és biológiai anyagok tulajdonságainak, hatásmechanizmusának vizsgálatát európai szinten összehangoló hálózat.
- EURO-BIOIMAGING (European Research Infrastructure for Imaging Technologies in Biological and Biomedical Sciences): a legmodernebb, molekuláris szintű képalkotó infrastruktúrák hálózata, amely biológiai, orvosi, gyógyszerészeti kutatások és fejlesztések összehangolt, magas szintű művelését teszi lehetővé.
- EST (European Solar Telescope, Kanári-szigetek): a Nap alapvető folyamatainak, a napléggörbe dinamikájának és a helioszféra tulajdonságainak tanulmányozására épülő 4 m-es teleszkóp.

„ESFRI Landmark” infrastruktúrák magyar tagsággal vagy támogató részvételével:

ELI (Extreme Light Infrastructure, Prága, Szeged, Bukarest): a fénnyel anyag kölcsönhatást, valamint a nagyteljesítményű, extrém rövid impulzusú lézerek anyagtudományi, kémiai, biológiai és magfizikai alkalmazásait tanulmányozó, elosztott helyszíni kutatási infrastruktúra.

ESS ERIC (European Spallation Source, Lund): a világ legintenzívebb neutronforrása, amely biológiai, orvostudományi, fizikai, anyagtudományi, energia- és környezetvédelmi, valamint kulturális örökségvédelmi vizsgálatok elvégzését teszi lehetővé.

EU XFEL (European X-Ray Free-Electron Laser Facility, Hamburg): az első szupravezető mágnesekkel működő szabadelektron röntgengéner, amely lehetővé teszi ultrarövid röntgenimpulzusok biológiai, orvostudományi és anyagtudományi alkalmazását kutatási és fejlesztési programokban.

Hi-Lumi LHC Upgrade (High-Luminosity Large Hadron Collider, Genf): A CERN legnagyobb gyorsítójának, a nagy hadronütköztetőnek továbbfejlesztett változata, amely segítségével, a megnövelt intenzitás és ütközési gyakoriság eredményeként, huszonegy tagország 15 000 kutatója lesz képes új részecskéket felfedezésére.

LifeWatch: a biológiai sokféleség és ökoszisztéma kutatását szolgáló elosztott helyszíni kutatási hálózat, amely a tizenöt részt vevő ország adatgyűjtő pontjaitól, vizsgálati állomásaiból, valamint az adatokat tároló és elemző intézményekből és e-infrastrukturáikból áll.

ECRIN ERIC (European Clinical Research Infrastructure Network): klinikai vizsgálatok eredményeit tartalmazó, nemzeti adatbázisok összekötése és egységesítése eredményeként létrejött európai szakértői

adatbázis-hálózat, amely növeli a betegségek felismerésének és a betegek ellátásának sikerességét.

ESFRI (European Strategy Forum for Research Infrastructures): Kutatási Infrastrukturák Európai Stratégiai Fóruma

ESRF-EBS Upgrade (European Synchrotron Radiation Facility — Extremely Brilliant Source, Grenoble): az anyagszerkezetet az atomi szinttől a nanométeres skáláig vizsgálni képes nagyenergiás szinkrotron-sugárzást előállító gyorsító továbbfejlesztett változata.

ILL 20/20 Upgrade (Institute Max von Laue-Paul Langevin, Grenoble): a szilárdtestfizika, kémia, biológia, magfizika és anyagtudomány területén folyó, nagy intenzitású neutronforrást igénylő kutatásnak, K+F-tevékenységnek helyet adó, nemzetközi együttműködés keretében működtetett kutatóreaktor.

ESS Social ERIC (European Social Survey): a társadalmi magatartások és viselkedések tanulmányozására létrehozott nemzetközi együttműködés, amelyben a 24 tagország kutatói összegyűjtik, elemzik és összehasonlítják a témakörbe eső információkat, s két évente egész Európára szóló elemzést jelentenek meg.

SHARE ERIC (Survey of Health, Ageing and Retirement in Europe): húsz ország által létrehozott együttműködés, amely az ötven éven felüli népesség öregedését, nyugdíjazását, egészségi, szociológiai és gazdasági problémáit tanulmányozza a tagországok által létrehozott és bővített, elektronikus összekötött adatbázisokra támaszkodva.

PRACE (Partnership for Advanced Computing in Europe): a négy alapító tagország hozzájárulásából létrejött, hat szuperszámítógépből álló páneurópai hálózat, amely erőforrást a részt vevő államok kutatói kiválósági alapon vehetik igénybe nagy erőforrásigényű tudományos és mérnöki feladataik megoldására.



AZ ÖREGEDÉS ÉS AZ ALZHEIMER-KÓR

Penke Botond

Hortobágyi Tibor

az MTA rendes tagja,
MTA–SZTE Szupramolekuláris
és Nanoszerkezetű Anyagok Kutatócsoport, Szeged
penke.botond@med.u-szeged.hu

PhD,
Debreceni Egyetem Patológiai Intézet
Neuropatológiai Tanszék
hortobagy@neuropathology.hu

Fülöp Livia

PhD, Szegedi Tudományegyetem Orvosi Vegytani Intézet
fulop.livia@med.u-szeged.hu

„...mindannyiunk háta mögött felgyűlt az idő; szép csendesen ereszkedünk alá, mint a harangóra súlya. Mind közelebb a földhöz, aztán kopp! – megérkeztünk, s nincs kéz, amely az órát még egyszer felhúzná.”

Sütő András: *Anyám könnyű álmot ígér*

Bevezetés

Évezredek óta keresi az emberiség az utat az öregedés lelassítására, az ifjúság és az egészség minél hosszabb megőrzésére. Az ókori görögök azt is tudták, hogy egészség és ifjúság nélkül a halhatatlanság igen keveset ér. Ezt jelképezi a halhatatlanságot szerzett, de öregében összezsugorodó, tücsökké változó Tithónosz története. A tudomány mai állása szerint minden egyes emberi embrió kb. száz-húsz éves programot hordoz magában, ez tartalmazza öregedésének és halálának menetrendjét is. Ez a program azonban különböző okok miatt nem teljesül: Klóthó nem fonja végtelen hosszúra az emberi élet fonalát.

Az öregedés gyakorlatilag testünk minden részét érinti, tüneteit előbb-utóbb mindenki megismeri:

- Csökken a szív kapacitása, a maximális szívfrekvencia, a tüdőkapacitás.
- Leépi lassan az izomzat tömege (szarkopénia), ennek üteme évi 1% körül van.
- Elfajulnak, elkopnak az ízületek porcai, jelentkezik az artrózis. A csökkenő erő és ügyesség bizonyos foglalkozások és művészetek (például balett) gyakorlását szinte lehetetlenné teszik.
- A szervezet válasza a vércukorszint változásaira gyakran nem megfelelő, és kialakulhat a diabétesz.
- Csökken a máj és a vese méregtelenítő kapacitása, sok esetben a szükséges gyógyszerek metabolizmusa és kiválasztása is gondot okoz. Emésztőrendszeri zavarok is jelentkeznek, nehezebben szívódnak fel például a vitaminok.
- Az ellenállóképesség csökken, gyengül az immunrendszer.
- Ráncosodik a bőr, megváltozik a szervezet zsíroszlása.
- Az erek falában lerakódások jelennek meg, kialakul az érlemezés (ateroszklerózis).
- Az érzékelés is változik: gyengül a látás, hallás, szaglás, tapintás és ízlelés képessége.

- Sok esetben a központi idegrendszerben is pusztulásnak indulnak az idegsejtek. Betegségek lépnek fel, amelyek a tanulási képesség és az emlékezet lassú elvesztésével, illetve mozgászavarokkal járnak (Alzheimer-kór, Parkinson-kór stb.).

Öregedés, demencia és Alzheimer-kór

Az öregedés elkerülhetetlen élettani folyamat. Hajtóereje a sérült szerkezetű, működésképtelen makromolekulák és széteső sejtorganelumok fokozatos felhalmozódása a sejtek belsőjében. Az oxidált, rosszul feltekeredett, kereszt kötött vagy aggregált makromolekulák nem működnek megfelelően, és mint „sejtmérgek” hatnak. Ez minden sejtípusban így van. A sejtek sérülése a közvetlen kiváltó oka az öregedéssel gyakoribbá váló betegségeknek és kóros folyamatoknak, például a ráknak, az izomleépülésnek és a demenciáknak.

A demencia az 1994-es DSM-4 (*Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*) meghatározás szerint „a kognitív képességek fokozatosan kialakuló és folyamatos hanyatlása, mely a szociális kapcsolatok és a munkaképesség zavarát eredményezi”. A memóriazavar tehát önmagában még nem demencia, de a memóriadeficit szükséges feltétele a demenciának. Ahhoz, hogy a páciens demensnek tartsuk, az emlékezés zavara mellé legalább egynek még társulnia kell a következők közül: beszédzavar (afázia), megnevezési zavar (agnózia), bizonytalanság, ügyetlenség a tárgyak használatában (apraxia), nehézségek a mindennapi teendők megtervezésében, végrehajtásában. [Szemléleti változást hozott a 2013-as DSM-5, ez elveti a demencia fogalmát (!) és helyette a „jelentős neurokognitív zavar” (*major neurocognitive disorder*) kifejezést használja.]

A demenciának több formája ismeretes. A leggyakoribb a neurodegeneratív (ide tar-

tozik az Alzheimer-kór is) és a vaszkuláris; e kettő gyakran együtt fordul elő.

Általános vélemény, hogy az öregedés automatikusan magával hozza a szellemi leépülést, a vaszkuláris demenciát és az Alzheimer-kórt (a továbbiakban: AK). David Snowdon (2001) mélyreható vizsgálatai viszont azt mutatják, hogy a demencia jelentkezése egyénenként eltérő. A híres *Nun study* során megvizsgált (a 76. és 106. életévük között elhalálozott) 678 apáca kb. 40%-ának agyában nem talált AK-ra utaló elváltozásokat. Az öregedés tehát nem jár automatikusan AK-ral.

Mi az öregedés – az agy vonatkozásában? Az agy élettani öregedése, csakúgy, mint a demencia, együtt jár a kognitív képességek hanyatlásával – de általában ez nem éri el azt a mértéket, amit betegségnek tartunk. Az idősödő egyén társas és szociális kapcsolatai, a napi tevékenység végzése hosszú ideig normálisnak mondható. Az öregedés és demencia átmenete valójában pontosan nem elhatárolható, hanem egy „szürke zóna”. Nagyon fontos, hogy minél korábban felismerjük a demenciabetegséget, azonosítsuk a fokozottan veszélyeztetett időseket, és alkalmazzuk a megelőzés, illetve terápia lehetőségeit.

Az agy öregedésének jelenségei:

- az életkorral kapcsolatos memóriazavar (*age-associated memory impairment* – AAMI),
- az életkorral kapcsolatos kognitív hanyatlás (*age-associated cognitive decline* – AACD),
- az enyhe kognitív zavar (*mild cognitive impairment* – MCI).

Az első két jelenség az öregedés része, viszont a harmadik (MCI) inkább a demenciabetegséggel kapcsolatos, bár ez sem minden esetben alakul át demenciává. Az időskori memóriazavarnak és kognitív hanyatlásnak

többféle magyarázata van, miként a tünettan is változatos, egyénenként különböző.

Mi az Alzheimer-kór? A normális öregedési folyamat kóros felgyorsulása? Mai foglmaink szerint az AK betegség. Gyakorlatban egyetlen betegségként beszélünk róla, de ez vitatott: az AK inkább egy súlyos demenciával járó nagy betegségcsoport összefoglaló neve. Az AK Alois Alzheimer müncheni pszichiáterről kapta a nevét, aki 1907-ben írta le a kór-képet. Egyik betege súlyos demenciában szenvedett; a patológiai-szöveti vizsgálatok kimutatták, hogy a beteg agyban a sejtek között kongóvörössel könnyen festődő amiloid lerakódások (plakkok), valamint az idegsejtekben ún. neurofibrilláris kötegek halmozódtak fel. Később igazolódott, hogy mindkét lerakódás fő komponensei fehérjék (β -amiloid, illetve hiperfoszforilált tau, pTau). A betegség harmadik jellegzetessége a nagyfokú idegsejtpusztulás: a neuronok akár 30%-a is elhal a betegség előrehaladásával.

Az AK száz évvel ezelőtt az alacsony átlagéletkor miatt ritka betegségnek számított. A hatvanöt év alatt kezdődő genetikusan determinált formát „korai AK-nak” hívjuk, ez a betegek kb. 1%-át jelenti. (Alzheimer első betege ötvenegy éves volt, őt ma a „korai AK” csoportba sorolnánk.) A hatvanöt év után jelentkező időskori AK klinikailag heterogén, multifaktoros betegség.

Az AK az átlagéletkor folyamatos növekedése miatt egyre gyakoribb betegség lett, és komoly terhet ró az érintett családokra. Az Alzheimer-kóros családtag jelenléte lerontja az egész család életminőségét. Számos jól ismert film dolgozta fel valósághűen a betegség tüneteinek jelentkezését és tragikus előrehaladását (*Iris*; *Daniel*, *avagy rekviem egy karmesterért*; *Egyre távolabb*; *Elfélejtett élet*). A betegség rendszerint nem tragikus hirtelenséggel

jelentkezik, hanem egy bevezető, prodromális szakasszal, amelyet enyhe kognitív zavarok (MCI) jellemeznek. Az MCI-s betegek egy része „belecsúszik” az Alzheimer-kórba.

A betegségnek több szakaszát különböztetjük meg (Rajna, 2005):

- Az 1. szakasz nehezen körülhatárolható. Rövid ideig csak a „szórákózottság” jelei mutatkoznak, majd az enyhe kognitív zavar tünetegyüttes lép fel (általános lelassulás, a tevékenységek lendületének csökkenése).
- A 2. szakasz már az enyhe demencia stádiuma. A tanulási készség csökken, a memóriazavar mélyül, és ez gondot jelent a mindennapi aktivitásban. Megjelennek az első feltűnő jelek: ismert nevek tévesztése, a térbeli-időbeli tájékozatlanság, a beszéd szabatosságának változása, szótalálási nehézségek, a nyelvhelyesség romlása. A betegek önellátása még teljes, de csökken szociális érzékenységük: tapintatlan, önzővé válhatnak.
- A 3. szakasz a középsúlyos demencia állapota: komoly zavarok jelentkeznek a mindennapi tevékenységben. Az írás és a számolás gyakorlatilag lehetetlenné válik, az autózás, pénzzel való bánás szintén. A gondolkodás töredezett lesz, felszínes, a beszédet ismétlések tarkítják. Az emlékezés a közelmúltra vonatkozóan is hiányos, megjelennek a személytévesztések. A mindennapi önellátó aktivitást (tisztálkodás, higiénikus étkezés stb.) a beteg már nem tudja segítség nélkül elvégezni. Inaktív állapotok váltakoznak nyugtalansággal (pakolás, elkóborlás), ún. agitált magatartással.
- A 4. szakasz a súlyos demencia fázisa. A beteg már teljes ellátásra és felügyeletre szorul. A beszéd beszűkül, a spontán te-

vékenység minimálisra csökken, a mozgások céltalanok, ismétlődőek. A beteg az éhséget, szomjúságot sem mindig jelzi.

Betegségmechanizmusok, kezelési lehetőségek

Az AK neurodegeneratív betegség. A kórképre jellemző a központi idegrendszer neuronjainak lassú, egyre súlyosbodó és megállíthatatlan pusztulása. A betegségnek számos altípusa van (Lam et al., 2013), de valamennyire jellemző a kóros fehérjeképződéssel járó idegsejtelhalás. Az AK patomechanizmusa sok vonatkozásban átfedésbe hozható a vaszkuláris demenciával (VAD). Az ún. tiszta AK valószínűleg sokkal ritkább, mint gondoljuk, ezért sokan inkább „kevert demenciáról” beszélnek, mert az AK és a VAD morfológiai jelei egyaránt felismerhetők sok AK-osnak gondolt betegnél. Snowden (2001) vizsgálatai is azt igazolták, hogy az AK tüneteinek kialakulásában a cerebrovaszkuláris történés fontos szerepet játszhat.

Az AK egyike az ún. fehérje-konformációs betegségeknek: a sejteket alkotó százezer-nyi fehérje közül néhány a természetes, natív struktúráját megváltoztatja, és toxikus szerkeztűvé alakul át (cerebrális proteinopátia). Ezeket a betegségeket a kórosan átalakult fehérjék (β -amiloid fehérje – A β , tau, α -szinuklein – α -syn, TDP-43, FUS, prion, poliglutamin) alapján osztályozzuk. Az egyes betegségekben többféle toxikus fehérje is megjelenhet: például az AK-ban egyszerre van jelen az A β és tau, és sok esetben az α -syn is.

Kezdetben egyszerűnek tűnt az AK elleni gyógyszerek tervezése. Az AK-t egységes betegségnek tekintették, és kialakulását főleg a β -amiloid (A β) toxikus hatásával magyarázták. Az eredeti amiloid-kaskád hipotézis szerint (Hardy – Allsop, 1991) az A β (sok más fragmenssel együtt) egy membránfehérjéből

(amiloid prekursor protein – APP) keletkezik két enzim (a β - és γ -szekretáz) hatására. Ha túl sok A β szintetizálódik, egy kritikus koncentráció fölött toxikus A β -aggregátumok keletkeznek. Ezek a sejtek között kicsapódva amiloid plakkokat képeznek, ezek jelzik a betegség előrehaladását. Az idegsejteket az extracelluláris A β szignalizációs hatásai teszik tönkre, Ca²⁺ áramlik be a sejtekbe, felborul a fehérjék foszforilációs egyensúlya, az idegsejteken belül is toxikus fehérjék (például pTau) csapódnak ki. A betegség korai fázisában éri el azokat az idegsejteket, amelyek ingerületátvivője az acetilkolin. A megelőzés és gyógyítás lehetőségei: pótolni kell a hiányzó acetilkolint, és meg kell szüntetni az amiloid plakkokat. Meg kell előzni az A β és pTau keletkezését, vagy közömbösíteni kell őket. Az 1995-től kezdődő gyógyszerkutatásokat ezek a célok jellemezték.

A klinikai vizsgálatok nem igazolták az amiloid hipotézis minden részletét: a kolinészteráz-gátló gyógyszerek (donepezil, rivastigmin) és az idegsejtek Ca²⁺-szintjét moduláló memantine csak rövid, átmeneti időre hoznak javulást. Felismerték viszont az A β peptid prekursorának (APP) élettani szerepét (neurotrofikus hatás) és azt, hogy elsősorban nem az amiloid plakkok toxikusak, hanem a diffúzibilis és oldékony A β -oligomerek. A családi öröklődésű AK-ban A β -túltermelés van, de az időskori betegséget inkább az A β -bioszintézis és eltávolítás egyensúlyának zavarai jellemzi: csökken a toxikus A β -eltávolítás sebessége. Sajnos, az A β -bioszintézist moduláló β -szekretáz-gátló gyógyszerjelölt kudarcot vallott a toxicitási próbán. A monoklonális antitestekkel végzett passzív immunterápia sem volt eddig sikeres: csökkent ugyan a plakkok száma, de a neurodegeneráció nem állt meg, és jelentős mellékhatásokkal kellett

számolni. Hasonlóan sikertelenek voltak a pTau közömbösítését, eltávolítását célzó kísérletek is. A sikertelen gyógyszerkísérleteknek több oka is lehet:

- a betegség heterogén jellege miatt valószínűleg nem lesz olyan „csodagyógyszer”, amely minden AK-variánst gyógyít;
- a kései felismerésű neurodegeneratív betegségeknel az elhalt idegsejtek szerepét jelenleg gyógyszeresen nem tudjuk pótolni;
- valószínűleg nem volt megfelelő az eredeti gyógyszer-célpont sem: az igazi „ellenség” a sejteken belül képződő, a sejtek homeosztázisát tönkretévő A β , és nem az extracelluláris plak;
- a passzív immunterápia csak akkor lehet eredményes, ha sikerül elegendő mennyiségű A β -neutralizáló antitestet bejuttatni az agyba, illetve az idegsejtekbe;
- az AK állatmodelljei nem megfelelőek.

A kutatások visszatértek a kiindulópont-ra. Szent-Györgyi Albert szavaival: „Amit meg akarunk gyógyítani, azt előbb meg kell értenünk [...] s ha már értjük, akkor gyógyítani is tudjuk a betegséget.” Az alapkutatások olyan irányokat vázoltak fel, amerre érdemes elindulni, és esély adódik az AK prevenciójára, kezelésére. Igazán nagy siker jelenleg nem az AK-terápiától, hanem a prevenciótól várható. A gyógyszer-célpontok megértéséhez végig kell gondolnunk az egészséges agy működését.

Az agy különleges felépítése és szerepe.

*Idegsejtek, gliasejtek,
vér-agy gát, homeosztázis*

Az emberi agy az evolúció során az élővilágban kialakult legbonyolultabb rendszer. Felnőtt korban kb. százmilliárd neuron és kb. ötször több nem ingerlékeny neuroglia sejt alkotja, amelyek szigorúan megszabott rend-

szerbe szerveződtek. Tömege ugyan csupán 1300–1500 g, energiafogyasztása viszont kiemelkedően magas: az emberi szervezet energiaszükségletének 20%-át teszi ki.

Az idegsejtek mellett többféle gliasejt (asztroglia, mikroglia, oligodendroglia, ependima) van jelen az agyban. A gliasejtek biztosítják az idegsejtek számára a védelmet és az állandó környezetet, lehetővé téve, hogy az idegsejtek újra és újra aktív állapotba kerüljenek, kiszüljenek, vezessék az ingerületet.

A vérkeringés a bonyolult agyi kapillárisok rendszerével biztosítja az agy sejtjeinek állandó oxigén- és tápanyagellátását. Az agyi mikroérhálózat hossza kb. 650 km, felszíne 10–20 m². Az agyat egy bonyolult rendszer, az ún. vér-agy gát (Blood-Brain Barrier – BBB) választja el a szervezet többi részétől, és védi a nemkívánatos külső hatásoktól. A BBB az agyi hajszálerekhez kapcsolódik és funkcionális egységként működik: a kapillárisok endotél sejtjei, a periciták és az asztroglia végtalpak alkotják, neurovaszkuláris egységet képezve. A BBB-nek kulcsszerepe van az agyi homeosztázis fenntartásában (tápanyagellátás, védelem a káros anyagoktól és fizikai gát, valamint kommunikáció a perifériával). A BBB-n keresztül nincs szabad átjutás az ionok, a hidrofíil anyagok, a fehérjék és más biopolimerek, valamint a kórokozók számára. A BBB sok gyógyszer bejutását aktív efflux pumpák révén megnehezíti vagy blokkolja.

A BBB kétirányú szállítórendszerei (*solute carrier* – SLC; több mint negyven fehérje) biztosítják az aminosavak, a glükóz és más létfontosságú anyagok bejutását az agyba.

Amíg minden működik és egyensúlyban van...

Vérköreink, „miként a rózsabokrok reszketnek szüntelen, viszik az örök áramot”. A BBB átengedi a tápláló anyagokat és az oxigént,

kiszűri a káros anyagokat, eltávolítja az agyban képződött toxikus vegyületeket. A gliasejtek védik és táplálják a neuronokat, szinapsziseket. Az idegsejtek feldolgozzák az ingerületeket, a jelátvitel számos folyamatot indít el a sejtben, minden regulációs folyamat az egyensúlyt szolgálja. A sejtben (és a mitokondriumban) folyik a DNS-információ átírása (hírvivő RNS képződése); a riboszómákban folyik a fordítás, vagyis a fehérjék szintézise; az endoplazmás retikulumban (ER) a fehérjék módosítása, feltekeredése, diszulfidhidak kialakulása. A citoplazmában alapvető anyagcsere-folyamatok zajlanak, a mitokondriumok termelik a szinte minden folyamathoz szükséges általános energiatároló adenzin-trifoszfátot (ATP). Ha hibás konformációjú fehérjék képződnek, ezeket eltávolítják a tágabb értelemben vett autofágia-utak (a chaperon-mediált, az ubikvitin-proteasóma és a makroautofágia lizoszomális rendszer). A sejtben belül az axonális transzport szállítja a szükséges anyagokat, hogy folyamatosan megújuljanak az idegsejtek közötti kapcsolatok, megmaradjon a szinaptikus plaszticitás. A sejt válaszol a környezet előnytelen változásaira, stresszhelyzetekre, és minden válasz elsődleges feladata a túlélés biztosítása.

Az AK kialakulásának hipotézisei

Az AK kialakulása hosszú, a sejt homeosztázisának lassú felbomlásával járó évtizedes folyamat. A betegség multifaktoros jellege miatt az AK-szakirodalom hipotézisekben gazdag, ezek közül csak a legismertebbeket soroljuk fel időrendi sorrendben.

- 1.) Legrégibb a kolinerg-hipotézis: az AK kiváltója a kolinerg neuronok pusztulása az agyban.
- 2.) Az amiloid-kaszád hipotézist a betegségmechanizmusoknál részleteztük.

- 3.) A tau-hipotézis szerint a neuronális diszfunkció, majd sejtpusztulás úgy indul el, hogy a sejtek mikrotubuláris rendszerének fontos alkotórésze, a tau-fehérje hiperfoszforilálódik, a mikrotubusok széthullanak, és megszűnik az axonális transzport, ami kiváltja a neurodegenerációt.
- 4.) Prion-hipotézis: az amiloid- és a tau-hipotézisek újabb változata. Mind az A β -peptid, mind a tau-fehérje képes különösen rezisztens, prion-szerű (prionoid) szerkezetté alakulni, sőt: átalakítani az ép szerkezetű fehérjéket is, majd sejtről-sejtre terjedni az anatómiai utak mentén. A terjedés útjai: közvetlenül a szinapsziseken keresztül, illetve extracelluláris vezikulákkal.
- 5.) Az agyi keringés zavara: az agy vérellátásának csökkenése, a krónikus agyi hipoperfúzió, az O₂- és táplálékhiány váltja ki a neurodegenerációt.
- 6.) A kalcium-hipotézis szerint az agyban felhalmozódó A β Ca²⁺-jelátviteli zavart okoz: a glutamát receptorokat (pl. NMDA-receptor) túlaktiválja. Ca²⁺ áramlik be az idegsejtekbe, megnő a nyugalmi Ca²⁺ szint. Ennek hatására törlődik a hippocampusban a munkamemória, így ez nem tud rögzülni az alvás folyamán (Berridge, 2014).
- 7.) Az öregedés spontán hozza magával az agyi homeosztázis lassú felborulását, de ez kezdeti szakaszában megállítható.
- 8.) Neuroinflammáció-hipotézis: az agyban akkumulálódó A β aktiválja az asztrocitákat és a mikroglia, ez váltja ki a neurodegeneratív folyamatokat a proinflammációs citokineken (pl. TNF- α) keresztül.
- 9.) A neuroinflammáció szerepének ellentmond az a hipotézis, amely szerint nem a mikroglia túlaktiválása, hanem fordítva: a gliasejtek alacsony aktivitása okozza a betegséget (az aktivált mikroglia ugyanis

fagocitálja az agyban képződő A β -t, ezzel megakadályozva a neurodegenerációt).

- 10.) Mitokondrium-kaszád hipotézis: az AK legelső lépése az mitokondriális DNS mutációja, ez vezet az elektrontranszportlánc működési zavaraihoz, ATP-hiányhoz. Reaktív oxigénradikálok (ROS) képződnek, ezek egyik célpontja maga a mitokondrium, ez újabb ROS-képződést és ördögi kör kialakulását okozza. Az ATP-hiány az ABC-transzporterekhez kötődő A β -eltávolítást is csökkenti.
- 11.) Néhány fém (Zn, Cu, Fe) ionjainak akkumulációs és disztribúciós-redistribúciós zavara vezet A β -akkumulációhoz és toxikus A β -konformáció kialakulásához.
- 12.) Az ER-stressz esetén a chaperonok kivételével leáll a riboszomális fehérjeszintézis (*unfolded protein response* – UPR). Felhalmozódnak a hibás konformációjú fehérjék (például az A β), felborul az ER és a mitokondrium kalcium-homeosztázisa. Az UPR krónikussá válva beindítja a programozott sejthalált (apoptózist).
- 13.) A neuronok homeosztázisában különösen fontos szerepet tölt be az autofágia (Takáts, 2014). Nem működnek megfelelően a hibás konformációjú fehérjéket eltávolító autofágiautak (chaperon-indukált autofágia, ubikvitin-proteasóma út [UPS], lizoszomális makroautofágia). Ha egy autofágiarendszer zavart szenved, beindulhatnak a neurodegeneratív folyamatok.
- 14.) Az A β -eltávolítás (*clearance*) fontos elemei a vér-agy-gát ABC-transzporterei, a glimfatikus rendszer és a perivaszkuláris keringés. Mitokondrium-alulműködés, krónikus stressz esetén hatékonyságuk csökken.
- 15.) Az AK kialakulásában az A β -képződés szabályozása révén kulcsszerepet töltenek

be a különböző lipidcsoportok. Legtöbbször a koleszterin szerepét hangsúlyozzák, de a szfingolipid metabolizmus zavara is kiválthatja. Az APP környezetében lévő lipidösszetétel nagymértékben befolyásolja az APP-processzálást, a szekretázok működését, így az A β -képződést is. A membránok ugyanakkor gangliozidjaikkal megkötik az A β -t, és közreműködnek a toxikus A β -konformáció kialakulásában. Az AK tehát bonyolult lipidanyagcsere-zavar eredménye.

- 16.) Kalpain-hidroxi-nonenal-Hsp70-katepszin kaszkád hipotézis: az oxidatív stressz 4-hidroxi-nonenal-képződést okoz, ez reagál a Hsp70-nel, amely a lizoszóma-membrán felbomlásához és a katepszinek kiszabadulásához, majd sejthalálhoz vezet.
 - 17.) Az agyban inzulinrezisztencia alakul ki: az AK voltaképpen „3-as típusú diabetesz”.
 - 18.) A hippocampus szinapszisaiban egy fontos neuroprotektív fehérje, a CSPA α lokális expressziójának csökkenése kulcsszerepet játszhat az AK korai lépésében, a szinaptikus degenerációban (Tiware, 2015).
- A felsorolt hipotézisek (kevés kivétellel) nem mondanak ellent egymásnak. Inkább az az általános kép alakul ki, hogy noha az AK patomechanizmusának számos kiindulópontja lehet, közös jellemzője a hibás konformációjú, aggregálódó, toxikus A β -szerkezetek kialakulása. Ha az autofágia és más *clearance* rendszerek nem távolítják el az A β -t, akkor ezek kölcsönhatásba lépnek a sejtorganelumokkal (mitokondriumok, ER, lizoszómák), és a sejt öregedése, neuronális diszfunkció, majd neurodegeneráció következik be.

Az AK korai diagnózisa

Ha egy AK-beteg már külső jelekből látszik a betegség, akkor a kór kb. a középsúlyos

stádiumban van. A betegség hosszú ideje halad előre az agyban, és a teljes gyógyulást nem lehet megcélozni. Ezért fontos a korai diagnózis. Néhány éve a Nemzetközi Alzheimer-kór Társaság egy új diagnosztikus protokollt fogadott el, amely elég nagy biztonsággal teszi lehetővé az AK korai diagnózisát. A protokoll egy komplett kivizsgálást foglal magába, így röntgen-, MRI-vizsgálatokat és a liquor A β és pTau elemzését is. A korai diagnózis új módszere a spontán beszéd elemzése: a beszéd tempója, a szünetek száma és hossza jelzi a kognitív változásokat.

A közelmúltban több olyan cikk jelent meg, amelyek szerint egy vérmintából a plazmafehérje- és lipidösszetétel változásainak mérésével kimutatható az AK. Sajnos, e módszerek gyakorlati használhatósága erősen korlátozott. Mivel az időskori AK genetikai háttere sincs még minden részletében felderítve (Van Cauwenberghe, 2015), jelenleg a genomszekvenálással sem tudunk egy komplex hálózatot felépíteni az AK kialakulásánál egymásra ható génekből. Ezen a területen viszont nagyon gyors a fejlődés.

Az AK nem módosítható rizikófaktorai

Az idegsejtek öregedése • Az idegsejtek maguk is öregsenek, elsősorban a mitokondriális DNS- (Mt-DNS) mutációk következtében. Az Mt-DNS-mutációkat (a hisztonok hiánya miatt) a sejt nem tudja kijavítani, emiatt csökken az elektrontranszport-rendszer teljesítő-képessége, csökken az ATP-termelés, csökken az autofágia szintje. Zavarok támadnak a mitokondrium-ER együttműködésben, a sejten belüli Ca²⁺-szint szabályozásában. Az ER-stressz miatt felhalmozódnak az ER-lumenben a riboszómákon szintetizált fehérjék, zavart szenved a fehérjék feltekeredése (*folding*), hibás konformációjú fehérjék képződnek (például A β). A sejt ennek hatására bekapcsolja a védekező rendszerét (UPR), a fehérjék riboszomális szintézise leáll. Ha megszűnik az ER-stressz, minden újraindul, helyreáll a homeosztázis. Ha viszont a védekezés krónikussá válik, az UPR elindíthatja a programozott sejthalált.

A toxikus A β -oligomerek keletkezése a sejt belsejében sok sejtservecskét károsít. Legfontosabbak ezek között a mitokondriumok, amelyek alulműködése az idegsejten belüli szállító folyamatokat (axonális transzport) is leállítja. Nincs elegendő újonnan szintetizált fehérje az új idegsejtkapcsolatok képződéséhez, amelyek a tanuláshoz, memóriarögzítéshez szükségesek. Nem képződnek kellő mennyiségben az idegsejt-növekedési faktorok (BDNF, NGF), a hippocampusban egyre csökken, majd lassan megszűnik az új idegsejtek képződése, a tanulási és memória-folyamatokban kulcsfontosságú neurogenesis. A toxikus A β kiszabadulhat a neuronokból, és akár közvetlenül, akár az exoszómákba csomagolva belép a szomszédos idegsejtekbe. Ezen az ún. prionoid úton, sejtről-sejtre ugrálva terjed a betegség az anatómiai utak mentén.

Genetikai háttér; családi előfordulás • A családi öröklődésű AK ismert genetikai háttere (APP, PS1, PS2 mutációk) mellett fontos felfedezés volt, hogy a lipidszállításban szerepet játszó apolipoprotein (ApoE) egyik formája (ApoE4) sokszorosára növeli az időskori AK kockázatát. Vannak védő APP-mutációk is, például az izlandi populációban. Ha mindkét génhelyen (lókus) az ApoE4 mutáció van jelen, akkor sem szükségszerű az AK bekövetkezése, ehhez más gének aktiválása is szükséges. Populációgenetikai vizsgálatok (GWAS) további 21 gén lehetséges szerepére utalnak, de ezeknek a géneknek a penetrációja alacsony, csak kombinációban

lehetnek hatékonyak. Valószínűleg ma még ismeretlen védő mutációk, illetve szerencsés génkombinációk miatt nem kapja meg mindenki késő öregkorban sem a betegséget.

Befolyásolható rizikófaktorok

Kevés a tiszta formában előforduló AK, a betegség általában kevert formában jelenik meg, társbetegségek kísérhetik (magas vérnyomás, diabétesz). Bármilyen legyen is a genetikai örökségünk, a fiatal korban jelentkező, genetikailag determinált (autoszomális domináns) AK kivételével sokat tehetünk az AK kezdetének minél távolabbi időpontra történő kitolásáért.

Kardiovaszkuláris problémák elkerülése • A krónikus agyi hipoperfúzió kulcsszerepet játszhat az AK kialakulásában (Zádori et al., 2007). Egyetlen szívinfarktus statisztikailag 2,7-szeresére növeli az AK kockázatát. Az öregedés következménye az agyi vérrellátás krónikus alulműködése. A vérrellátás csökkenése magával hozza nemcsak az agy oxigén- és tápanyagellátásának csökkenését, hanem a BBB sejtjeinek sérülését is. A BBB alulműködése oxidatív stresszt és elhúzódó alacsony szintű gyulladást okoz, ugyanígy zavar támad a lokális véráramlást szabályozó NO-termelésben is. Nő a BBB permeabilitása, csökken az agyban képződő toxikus anyagok (például β -amiloid) eltávolításának sebessége, mert az endotélsejtek mitokondriumai is alulműködnek, tehát csökken az efflux-pumpák aktivitása. Öröki kör alakul ki, folyamatosan csökken az agyi vérrellátás szintje, és megkezdődik a neurodegeneráció. Az A β növekvő agyi szintje károsítja a hajszálerek falát alkotó endotél sejteket, ez tovább növeli a BBB működés zavarát.

Táplálkozás • A zsírban és cukorban gazdag étrendet már régóta kapcsolatba hozták

az AK magasabb kockázatával. Sokan az AK-t „3-as típusú diabétesznek” tekintik: az agyban inzulinrezisztencia alakul ki, sérülnek az agyi jelátviteli folyamatok. Klinikai vizsgálatokkal igazolták, hogy az inzulin orrspray alkalmazása javította a szellemi leépülés kezdeti fokán lévő páciensek memóriáját. A további klinikai vizsgálatok viszont nem igazolták azt az optimizmust, amivel kezdetben az AK inzulinos kezelésének lehetőségét fogadták. A szellemi hanyatlásnak valóban van energetikai dimenziója, az AK kialakulásában a mitokondriális energiatermelés csökkenése fontos szerepet játszhat. A diabétesz valóban az AK egyik rizikótenyezője, de nem igazolt, hogy kialakulásának az inzulin az elsődleges mozgatója.

A táplálkozás és az AK kapcsolatával számos longitudinális megfigyelés foglalkozott. Szignifikáns együttes előfordulást találtak az AK és más patológiás állapotok (diabétesz, metabolikus szindróma stb.) között. Egyértelműen védő hatásúnak bizonyult a mediterrán típusú étkezés és a kalóriarestríktív diéta. Klinikai vizsgálatok viszont nem tudták igazolni a C- és E-vitamin védő szerepét.

Fizikai és szellemi aktivitás • A legutóbbi tíz év kutatásai a fizikai aktivitás hiányát mint a demencia, a kognitív hanyatlás fontos faktorát határozták meg. A mozgás hiánya az egész szervezetet érintő szisztémás gyulladást okozhat, ez inzulinrezisztenciát, neurodegenerációt és ateroszklerózist válthat ki. Az életmód, öregedés és AK összefüggéseivel foglalkozó valamennyi tanulmány azt igazolta, hogy a fizikai aktivitás fontos szerepet játszik az AK megelőzésében. Az utóbbi tíz évben sikerült megtalálni azokat a faktorokat, amelyeket az izommozgás aktivál, és sejtvédő, antiapoptikus hatásúak.

A mitokondriumok a genomjaikban kódolt peptidok révén az anyagcsere aktív

szabályozói. Egyik ilyen faktor a humanin polipeptid. Nagyszámú vizsgálat igazolja a humanin sejtvédő hatását. A humanin és analógjai, a Huntington-kór, a prion betegségek és a stroke állatmodelljein is neuroprotektív hatásúak, ezen túl jótékony hatást mutattak az ateroszklerózis, miokardiális iszkémia és reperfüzió kezelésében is. A humanin kölcsönhatásba lép a Bcl-2 család fehérjével, és ezek modulálásával fejti ki citoprotektív hatását.

A humaninon kívül más mitokondriális eredetű peptidok is hatnak az anyagcserére, csökkentik az inzulinrezisztenciát, mérsékelik az elhízást, és elősegítik az anyagcsere-egyensúly beállítását. Ilyen a tizenhat aminosavból álló MOTS-c, amelyet egérkísérletekben alkalmaztak, és megakadályozta az elhízást.

A fizikai aktivitás, az izommozgás hormontermeléssel jár. Mai felfogásunk szerint az izom endokrin működésű szerv, amelyben módosult adipociták termelik a hormonokat (miokinek, miosztatin, irizin). Izommozgás közben ugyanis FNDC5 képződik, ez egy olyan izomfehérje, amely proteolízissel miokinek (irizin és az „edzésfaktor” – EF) hasad szét. Ezek hatására barna zsírszövet alakul ki, megemelkedik a zsírszövet anyagcseresintje, javul a glükóz-homeosztázis. Az irizin hormon aktiválja a hippokampusz idegsejtjeit, és megnöveli a BDNF termelődést. Így az irizin az AK megelőzésében is alkalmazást nyerhet.

Az életmód és az AK összefüggéseit kutató vizsgálatok egyértelműen arra mutatnak, hogy a szellemi aktivitás, a kognitív interakció jelentősen javítja a szellemi teljesítményt, és bizonyos védelmet jelent az AK ellen.

Régi-új gyógyszerek és gyógyszer-célpontok

Azt gondoljuk, hogy belátható időn belül nem reménytelen egy kezdeti stádiumban lévő AK-beteg állapotának stabilizálása.

- Valószínűleg már kezünkben vannak azok a gyógyszerek (pl. Aβ-neutralizáló monoklonális antitestek), amelyek megállítanák a neurodegenerációt, csak nem jutnak el kellő koncentrációban a hatás helyére, például a neuronok belsejébe. Az anti-amiloid antitestek klinikai vizsgálatoknál intenzíven kutadják azokat a hordozókat, amelyek be tudják juttatni az antitesteket az agyba, illetve az idegsejtek belsejébe.
- A Jumex (Delagil, Selegiline), a Parkinson-kór gyógyszerelésére bevezetett magyar gyógyszer (Knoll József és Magyar Kálmán szabadalma, 1981), egy szelektív monoamin-oxidáz-B- (MAO-B) gátló, az AK-prevencióban is alkalmazást nyerhet. Az egyik hasonló szerkezetű gyógyszerrel, a Rasagiline-nel 2014 óta folynak klinikai vizsgálatok AK-ban (24 hónapos vizsgálat). Ezek ún. multimodális gyógyszerek: meggátolják a mitokondriális eredetű apoptózist, és serkentik a neurotrofikus faktorok (BDNF, CDFN) képződését.
- Sok gyógyszerkémikus keresi azokat a vegyületeket, amelyek meggátolják az APP-endocitózist, illetve az intracelluláris Aβ bioszintézisét (például β-szekretáz inhibitorok).
- A bexarotene®, egy T-sejtes limfóma gyógyítására engedélyezett gyógyszer, kognitív javulást hozott klinikai vizsgálatokban. Valószínűleg csak bizonyos ApoE-genotípusoknál (például ApoEε3) hatékony, és a lipid metabolizmusra hat.
- Két másik ismert gyógyszer, az antiepileptikus hatású levetiracetam® és a brivaracetam® szintén képes az ApoEε4 fenotípus korrekcióra; klinikai vizsgálatokban kivédi a kognitív hanyatlást.
- A BBB ABC-transzportereinek aktiválása fitoterápiás szerekkel (például *Hypericum-*

illetve *Sideritis*-extraktumokkal) javítja a kogníciót, csökkenti a demencia kockázatát. Más gyógynövények (*Ginkgo biloba* és *Curcuma longa*) extraktumai is neuroprotektív hatásúak.

- A makroautofágia aktiválása (Papp, 2015) az AUTEN-67 gyógyszerjelölttel állatkísérletekben neuroprotektív hatású.
- Klinikai kísérletek folynak gyógyszerjelöltekkel a chaperon-indukált autofágia (például Hsp-70 aktiválás) neuroprotektív hatásának igazolására.
- Az ER-stressz és a krónikus UPR káros hatásait védi ki a GSK 2606414 (PERK inhibitor gyógyszerjelölt) és a Salubrial®, de AK-beteganyagon még nem vizsgálták. Jelenleg 59 klinikai vizsgálat folyik AK elleni gyógyszerjelöltekkel (Fázis I-III). A vizsgálatokat bonyolítja, hogy a gyógyszerjelöl-

teknek meg kell akadályozni mind az extracelluláris, mind az intracelluláris hatásokat, sőt: gátolni kell a betegség terjedését sejtről sejtre például az exoszómák révén. A betegség lefolyását ismerte kiemelten igaz, hogy a megelőzés a legjobb megoldás: ha életmódunk és táplálkozásunk helyes megválasztásával védekezünk a demencia ellen.

A szerzők köszönetet mondanak Frecska Ede, Kálmán János és Vécsei László professzoroknak a kézirat javításáért és értékes tanácsaikért, valamint az NKFIH-nak a KTIA_13_NAP-A-III/7 és KTIA_13_NAP-A-II/7 keretében nyújtott támogatásért.

Kulcsszavak: *Alzheimer-kór, diagnózis, életmódfaktorok, genetikai háttér, gyógyszer-célpontok, öregedés patomechanizmusa, rizikófaktorok*

IRODALOM

- Berridge, J. Michael (2014): Calcium Signaling, Memory and Alzheimer's Disease. *MTA tiszteleti tag szélfoglató előadás*, 2014. 05. 21.
- Hardy, John – Allsop, David (1991): Amyloid Deposition as the Central Event in the Etiology of Alzheimer's Disease. *Trends in Pharmacological Sciences*. 12, 10, 383–388. DOI: 10.1016/0165-6147(91)90609-V
- Lam, Benjamin – Masellis, M. – Freedman, M. et al. (2013): Clinical, Imaging and Pathological Heterogeneity of the Alzheimer's Disease Syndrome. *Alzheimer's Research & Therapy*. 5, 1. DOI: 10.4172/2161-0460.1000143 • <http://tinyurl.com/ho6rwf4>
- Papp Diána – Kovács T. – Billes V – Vellai T. (2015): AUTEN-67, an Autophagy-enhancing Drug Candidate with Potent Antiaging and Neuroprotective Effects. *Autophagy*. 27. [Epub ahead of print] DOI: 10.1080/15548627.2015.1082023.
- Rajna Péter (2005): *Öregedő agy – idősödő elme – örökifjú (?) lélek*. Multiart Productions Kft., Budapest

- Snowdon, David (2001): *Aging with Grace*. Bantam Books, New York
- Takáts Szabolcs – Nagy P. – Juhász G. (2014): Az autofágia szerepének és szabályozásának vizsgálata *Drosophila* modellen. *Biokémia*. 38, 4, 17–29. • <http://www.mbkegy.hu/docs/biokemf/pdf/b201412.pdf>
- Tiwari, S. Sachin – d'Orange, M. – Hortobágyi T. et al. (2015): Evidence That the Presynaptic Vesicle Protein CSPalpha Is a Key Player in Synaptic Degeneration and Protection in Alzheimer's Disease. *Molecular Brain*. 8, 6. DOI: 10.1186/s13041-015-0096-z • <http://tinyurl.com/guldkm3>
- Van Cauwenbergh, C. – Van Broeckhoven, C. – Sleegers, K. (2015): The Genetic Landscape of Alzheimer Disease: Clinical Implications and Perspectives. *Genetics in Medicine*. [Epub ahead of print] DOI: 10.1038/gim.2015.117 • <http://tinyurl.com/jsp97uu>
- Zádori Dénes – Datki Z. L. – Penke B. (2007): A krónikus agyi hipoperfúzió szerepe az Alzheimer-kór kialakulásában – tények és hipotézisek. *Ideggyógyászati Szemle*. 60, 428–437. • <http://tinyurl.com/gwda9zr>

MÉGIS, KINEK A KINCSE? A RESTITÚCIÓ KÉRDÉSEI

Hazai Kinga

ügyvéd, Dr. Kéri – Dr. Hazai Ügyvédi Iroda
dr.hazai.kinga@gmail.com

A közelmúltban izgalmas filmalkotás látott napvilágot *Hölgy aranyban*¹ címmel. A történet egy nyolc évig tartó, kontinenseken átnyúló peres eljárást mesél el, amely 2006-ban szerencsésen úgy ér véget, hogy Maria Altman felperes részére visszaadni ítélik a nagynénjétől, Adele Bloch-Bauertől a náci rezsim alatt jogellenesen elkobzott több Gustav Klimt-képet, köztük a legismertebbet, az 1907-ben magáról Adele-ről készült portrét.

A történet sokak által elfelejteni remélt kérdéseknek ad új aktualitást. Az 1933–1945 közötti években soha nem látott arányokat öltött Németországban a kulturális javak, műkincsek, értéktárgyak, műalkotások bizonyos diszkriminációs elvek szerinti tulajdonosainak szisztematikus kifosztása egy ideológia és célzott állami kultúrrelvási stratégia mentén. A német nyelvben ismert *Raubkunst* fogalom ekkor kerül a köztudatba, mellette párhuzamosan az *Entartete Kunst* fogalma, valamint új értelmezést nyer a *Beutekunst* fogalom.

Mindhárom esetkör mást takar, és eltérő kihatással voltak a későbbi tulajdoni igények megjelenése és érvényesítése szempontjából.

A *Raubkunst* vagy *rabolt művészet* fogalom alatt az értendő, amikor az állam tör-

vényhozási pozícióját kihasználva saját állampolgárait fosztja meg jogos tulajdonától akár kényszerértékesítési helyzetek létrehozásával, akár szintisza kártalanítás nélküli elkobzások útján. Ez esetben igazi tulajdonjog átszállásról talán nem is beszélhetünk, hiszen még ha akad is egy látszólagos jogcím, az ügyleti akarat hiba az egyik oldalon biztosan fennáll.

Ezekben az esetekben beszélhetünk majd restitúcióról a klasszikus polgárjogi alapon, vagyis az eredeti tulajdoni viszonyok helyreállításáról, amit a háborús évek után többkevesebb sikerrel nyomban igyekeztek megvalósítani. De az objektív körülmények nem voltak minden esetben adottak arra, hogy pontosan felderíthetőek lettek volna a jogfosztott tulajdonosok vagy jogutódjaik, és a pontos dokumentumok vagy akár maguk a tárgyak megsemmisülése folytán is nagy nehézségekbe ütközött egy teljes körű tényleges visszaszolgáltatás, kártérítés vagy kártalanítás.

A *Beutekunst* vagy *zsákmányolt művészet* sem új fogalom, hiszen valójában a hadizsákmány kategóriája, amely évszázadok óta kísértője a hadviselésnek, és sokszor a katonák fizetségének része a hadizsákmányból való osztozkodás.

1945 májusában, közvetlenül a harcok beszüntetését követően, Sztálin utasította a Trófea Bizottságot, amely a Vörös Hadsereg

által a német kulturális intézményekből, rak-tárakból több mint 2,6 millió műalkotást, hatmillió könyvet és számtalan folyókilométer archív anyagot foglalt le, és szállított a Szovjetunióba. Ebben az esetben a nemzetközi közjog szabályozza a restitúció kérdését.

Más a helyzet az *Entartete Kunst* vagy *elfajzott művészet* akció tárgyi áldozatainak esetében, mert ott általában maguk a múzeumok, állami intézmények voltak a támadások célpontjai, ugyanis az állami ideológiától idegen nézeteket, művészeti irányokat megjelenítő alkotások lettek bevonva, sokszor megsemmisítve. Magántulajdon annyiban volt érintett, ha az éppen kölcsönben volt az intézménynél, vagy nyilvános aukción kínálták, hiszen a tulajdoni viszonyokat és eredetet nem firtatva hajtották végre az állami hatalom illetékesei a kiírt bekebelezési vagy pusztítási feladatokat. Ennek csúcsát jelentette az 1937. július 16-án Münchenben megnyílt kiállítás, ahol az akció keretében, az állam által lefoglalt műtárgyak százai mintegy elrettentettképp lettek kiállítva, hogy ellenpólusai legyenek az előző napon megnyílt *Grosse Deutsche Kunstausstellung* című kiállításnak, bemutatva, mennyire alsóbbrendű minden *avantgarde*, amely nem a nagy német kultúra eszmei vonalát képviseli.

A lefoglalt műalkotásokat szakértői bizottságok értékelése után eladásra kínálták vagy megsemmisítették.² Az értékesítéssel négy ismert galeristát bíztak meg, akik közül Hildebrandt Gurlitt neve a közelmúltban a sajto hasábjait is bejárta.³

² 1939. március 20-án a berlini főüzletőség udvarán égtek a Nemzeti Galéria remekműveinek százai.

³ Cornelius Gurlitt, Hildebrandt Gurlitt fiának lakásán 2012 februárjában közel 1400 műtárgyat foglaltak le egy adóügy kapcsán. A tárgyak eredete kétséges, de nagyrészt az 1940-es évek rablási, illetve elfajult mű-

A restitúció jogi alapja

A *restitúció* fogalma már a XIX. századtól a nemzetközi közjogban a háborús konfliktusokhoz kötődő magántulajdon sérthetlenségének kvázi szinonimájává vált. Igazi gyakorlati definíciót is azonban a II. világháborúban zajlott jogesemények kapcsán nyert, amely értelmében a jogtalanul és faji üldözéshez kötötten rabolt műalkotások tulajdoni viszonyait visszaszolgáltatás vagy kártalanítás útján állítják helyre.

Még zajlottak a II. világháború hadieseményei, amikor 1943. január 5-én a szövetséges erők kimondták a Londoni Nyilatkozatban,⁴ hogy az 1907-es Hágai Egyezmény⁵ 56. cikkébe ütközően, az ellenség által megszállt vagy ellenőrzése alatt álló területeken átruházott vagy értékesített műtárgyak jogügyletei semmisek. Az államok kölcsönös visszaadási igényei ezen a jogalapon nyugodtak, mivel a tizennyolc aláíró ország figyelmeztetett mindenkit, különösen a semleges területeken lakó személyeket, hogy tartózkodjanak az elkobzott tulajdon felvásárlásától. Az aláíró országok attól függetlenül tartották fenn a semmisé nyilvánítás jogát minden egyes jogügylet vonatkozásában, hogy akár még látszólag megfelelő jogcímen és kényszer nélkül mentek végbe az átruházások.

A II. világháborút követően, a szövetséges megszálló hatalmak által kidolgozásra kerülő restitúciós szabályok alapja a Londoni Nyilatkozat volt, amelyet a német jogirodalom a háborút követő években egyöntetűen eluta-

vészet lefoglalási köréből származtathatóak. A német hatóságok másfél éves hallgatás után hozták csak nyilvánosságra a lefoglalás tényét.

⁴ The Allied (London) Declaration of January 5, 1943.

⁵ Convention (IV) Respecting the Laws and Customs of War on Land, The Hague, 18 October 1907.

sított. Egyesek arra hivatkoztak, hogy a megszálló hatalmak jogszerűtlenül járnak el, mások a nemzetközi jogi legitimáció hiányát firtatták az Egyesült Államok katonai kormánya 59. sz. rendelete (1947. november 10.) vonatkozásában, amely a restitúció kérdéseit szabályozta. A francia kormány még aznap hasonló tartalmú rendeletet léptetett életbe No. 120 alatt. A gyakorlatban ugyan követte a brit megszálló igazgatás is a 10. sz. Egységes általános rendelet (1947. október 20.) iránymutatásait, hasonló tartalmú és számú (59.) rendeletet azonban csak 1949. május 12-én adott ki, mivel nehezen találta összeegyeztethetőnek a gazdáltná vált zsidó tulajdon átadását megfelelő zsidó utódszervezeteknek az általa akkor folytatott Palesztina-politikával.

A nemzetközi közjog szempontjából elfogadható jogalapot a magánszemélyek irányába teljesíthető restitúció vonatkozásában egy formális békeszerződés tudott volna teremteni. Erős bírálat érte a restitúciós eljárásokat a fordított bizonyítási teher kérdése miatt, valamint vitát váltott ki a jóhiszemű szerző restitúció utáni igénye az ő irányába értékesítővel szemben.

A restitúciós jogszabályozás lépései

Az 1943-as Londoni Nyilatkozat szellemiségében mintegy első lépésként a Szövetséges Ellenőrző Bizottság 2. sz. törvényével⁶ (1945. október 10.) azonnal betiltotta a Nemzeti Szocialista Pártot és teljes szervezetrendszerét, az újjászervezését beleértve, valamint teljes vagyonát lefoglalta, és vagyonvédelem alá állította, majd az 50. sz. direktívával (1947. április 29.) az eredeti tulajdonosoknak, tehát

egyházi, karitatív, szakszervezeti vagy politikai szervezeteknek vagy utódszervezeteknek átadta. Az átadás zökkenőmentesen ment végbe, hiszen nem kellett bizonyítani a szerzéshez kapcsolódó, faji üldözésből eredő jogszerűtlenséget.

Bonyolódott azonban a helyzet, amikor egyéni visszaadási igények jelentkeztek, különösen akkor, amikor az új tulajdonosok magánszemélyek vagy gazdasági társaságok voltak, mivel az esetek többségében az állam által jogszerűtlenül bevont zsidó vagyon elemeiről volt szó.

Az amerikai katonai kormányzat lett az úttörője a visszaadási politikának, amikor 1946 áprilisában megbízást adott a Stuttgarti Ország Tanácsnak egy „tulajdonellenőrzési bizottság” létrehozására és a visszaszolgáltatási stratégia elveinek kidolgozására. Német szakemberek közreműködésével jobbra a német polgári törvénykönyv, a BGB (*Bürgerliches Gesetzbuch*) adta lehetőségek mentén születtek javaslatok, amelyeket azonban az amerikai vezetés nem talált megfelelőnek, mivel álláspontja szerint a hagyományos jogalkalmazási eszközök alkalmatlanok voltak az adott jogi feladatkör megoldására, és a javaslatok maguk is arra az esetkörre korlátozódtak, ahol maga a nemzetiszocialista állam vont be vagyont. Üzleti körökből a jóhiszemű szerzőt körülbástyázó rendelkezések szükségességét hangoztatták, az igényérvényesítő személyét pedig magára a kárt szenvedettre vagy közvetlen jogutódjára korlátozták volna.

A német szaktekintélyeknek nem sok beleszólást engedtek. Annál több befolyásra tett szert viszont az American Jewish Committee, amely sikeresen lobbizott az amerikai katonai kormányzónál, Lucius D. Clay-nél, aki jómagam is szorgalmazta egy Szövetségi Fórum és a hozzá kapcsolódó joghatóság megterem-

tését. Az amerikai tervezet, amely később jogszabályi testet is öltött, a Nürnbergi Törvények kihirdetési napjával (1935. szeptember 15.) rögzítette azt a határnapot, amely nap után végbement bármilyen jellegű, zsidó, illetve egyéb üldözés alatt álló személy tulajdonát érintő jogügylet megtámadhatóvá vált.

A tervezet további, Clay által elengedhetetlenül fontosnak ítélt pontja, amely szerint az örökösök nélkül maradt vagyonelemek a zsidó szervezetek kollektív tulajdoni igényét képezte, annyira vitatott volt a megszálló hatalmak között, hogy egységes, minden zónára kiterjedő hatállyal nem tudott belekerülni a törvénybe.

Az Egyesült Államok katonai kormánya 95 paragrafusból álló 59. sz. rendelete így csak Bajorország (Rheinpfalz nélkül), Bréma, Hessen és Württemberg-Baden területekre lépett életbe 1947. november 10-én, és minden későbbi jogszabály kiindulási alapját képezte.

Az 1. paragrafus rögzítette a törvény célját, mely szerint az 1933. január 30. és 1945. május 8. közötti időszakban a származási, vallási, állampolgársági, világnézeti vagy a nemzeti-szocializmussal ellenséges politikai nézetek miatt üldözött személyektől elkobzott és megállapítható vagyontárgyakat, vagyoni értékű jogokat vissza kell szolgáltatni az eredeti tulajdonosoknak vagy azok jogutódjainak, figyelmen kívül hagyva a harmadik személyek jóhiszeműen szerzett igényeit.

A 2. paragrafus definiálta a jogszerűtlen jogügylet mibenlétét, mely szerint a jó erkölcsbe ütközés, jogellenesen, kényszer vagy fenyegettetés alatt végbement ügylet esik ebbe a kategóriába, valamint meghatározásra került az is, hogy állami aktus vagy azzal való visszaélés is teremthet visszaszolgáltatási jogalapot.

A 3. paragrafus rögzíti a „vagyonvesztési vélelem” megdönthetőségét azon esetekre,

amikor megfelelő vételár megfizetése és az azzal való szabad rendelkezés bizonyítható.

A 4. paragrafus rögzíti az 1935. szeptember 15-i határnapot, mely után kötött jogügyletekre a kényszerhelyzet mint törvényi vélelem vonatkozott. A határnapot követő jogügyletek csak akkor tekintendők érvényesnek, ha azok a nemzetiszocializmustól függetlenül létrejöttek volna, vagy a szerző bizonyíthatóan, különös módon figyelembe vette az értékesítő érdekeit.

A 19. paragrafus kizárja azon ingóságok visszaszolgáltatási kötelezettségét, amelyeket szokásos, rendes üzleti forgalomban szereztek, kivéve a műalkotásokat és azon alkotásokat, amelyek különleges művészeti értékkel bírnak, és üldözöttek magántulajdonából vagy olyan árverésből származnak, amely bevont tulajdon értékesítésével foglalkozott.

A 10. paragrafus rendezte a gazdátlan, örökös nélküli vagyon kérdését, amely nem háramlott vissza az államra, hanem a katonai kormányzat által kijelölendő utódszervezet javára volt ítélandó.

A 11. paragrafus határozta meg az igényérvényesítés idejét, méghozzá 1948. december 31-ig kellett minden igényt előterjeszteni.

Az 55–66. paragrafusok eljárásjogi kérdéseket rendeztek.

A 74. paragrafus rögzítette az ingatlanok, gazdasági társaságok, cégek vonatkozásában a jogszerzők azon kötelezettségét, amelyek értelmében földhivatali, cégjegyzéki, hajórajstrom nyilvántartási adataiban kellett meggyőződnie arról, hogy nem olyan vagyonelemről van-e szó, amely bejelentési kötelezettség alá esik, mivel visszaszolgáltatási kötelezettség fedezete. A 75. paragrafus öt évig terjedő börtönbüntetést helyezett kilátásba e kötelezettség gondatlan vagy szándékos elmulasztása esetére, vagy arra az esetre, ha a restitúciós

⁶ A Német Szövetségi Köztársaság 1949. december 16-án, a Német Demokratikus Köztársaság 1955. szeptember 20-án helyezte hatályon kívül.

hatóságoknak jobb tudomása ellenére valaki téves adatokat szolgáltat.

A brit zónában nagy vonalakban követték az 1947. október 20-i, 10. sz. Egységes általános rendelet passzusait, kivétel ez alól a gazdátlan zsidó vagyon volt, amely, mint már említettem, nehezen fért meg Palesztina-politikájukkal.

A francia szektorban érvényes 120. sz. rendelet még 1947. november 10-én életbe lépett. A „lojális szerzők” részére egy előnyös kártalanítási klauzulát tartalmazott, és a gazdátlan vagyon tekintetében nem rendelkezett külföldi utódszervezetek igényeiről. Az ilyen értékek egy erre hivatott alapba kerültek, amely a nemzeti szocializmus áldozatainak kártérítésére szolgált.⁷ Maga a jogkeletkeztető határnap meghatározása is eltérő volt annyiban, hogy a korábbi tulajdonos volt kötelezve a jogszerűtlenség bizonyítására, amennyiben a szerző megfelelő ellenértéket fizetett meg, és a jogügylet 1938. június 14.⁸ előtt ment végbe.

Szöges ellentétben álló nézetek uralkodtak azonban a szovjet szektor területén. A magántulajdon államosítása nem volt összeegyeztethető az áruházak, gyárak restitúciójával. A bevont és gazdátlan vagyon pedig elsősorban a háborús reparációs igények fedezésére volt hivatva. Elutasításra talált az az álláspont is, amely szerint zsidó szervezeteknek kellene juttatni bárminemű vagyont.

Az 59. sz. rendelet szó szerinti olvasatában a „visszaszolgáltatás általi jóvátétel” nemcsak az amerikai szektor területén végbement vagyonelkobzásokra vonatkozott, azonban számos kommentátor utal egy, az U. S. War Department által kiadott rendelkezésre, amelynek értelmében az 59. sz. rendelet alkalmazá-

si köre mégiscsak erre a területre korlátozódna (von Godin, 1948, 4.).

Az 59. sz. rendelet számos módosítást élt meg, majd továbbélése az *Überleitungsvertrag*⁹ 3. részének 2. paragrafusában volt megfogalmazva, amely szerint a Német Szövetségi Köztársaság vállalta az 59. sz. rendelet 1. paragrafusában lefektetett kötelezettség minden rendelkezésre álló eszköz igénybevételével, a lehető leggyorsabb módon és teljes terjedelmében való teljesítését.

Az 1952-es Luxemburgi Egyezmény, az 1953-as *Bundesergänzungsgesetz* (BergG), valamint az 1956-os *Bundesentschädigungsgesetz* (BEG)¹⁰ passzusaiiban igyekezett a törvényalkotás ennek eleget tenni, szűken kezelve azonban az igényérvényesítés személyi körét, abból kizárva a németországi lakhellyel nem rendelkezőket, továbbá a kommunistákat, a romákat, az orosz hadifoglyokat, az aszociálisakat, kényszersterilizáltakat, neurológiai betegeket és a homoszexuálisokat. Az igényérvényesítés idejét is szűken mérve, 1957. október 1. napjában határozták meg.

A brit és francia megszállási szektor restitúciós rendeleteinek tartalma, az 59. sz. rendelet előírásaival együtt 1957-ben, a *Bundesrückstellungsgesetz*¹¹ (BRüG) hasábjain öltött testet az igényérvényesítés záró időpontját 1959. március 31. napjával rögzítve, és a tárgyi hatályt a Német Szövetségi Köztársaság terü-

⁹ A Deutschlandvertraghoz (1952. 05. 26.) kapcsolódó egyik kiegészítő szerződés, amely a brit, francia és amerikai megszállási övezetek megszüntetését mondta ki Németország nyugati részére. Együtt lépnek életbe 1955. május 5. napján, majd hatályukat a két Németország egyesítésével veszítik el 1990. október 3-án. Bizonyos rendelkezések azonban érvényben maradtak.

¹⁰ 1956. június 29.-én, de 1953. október 1-i hatállyal lépett életbe.

¹¹ Német Szövetségi Kárpótlási Törvény (1957. 07. 19.)

letén fellelhető vagyonelemekre korlátozva, így kizárva azokat a vagyontárgyakat, amelyeket Nyugat- vagy Kelet-Európában raboltak el, és az NSZK területére hurcoltak.

Az 1965-ös *BEG-Schlussgesetz* tűzte ki célul, hogy végérvényesen és elegánsan rendezze a restitúció kérdését. Tekintettel arra, hogy az igényérvényesítők köréből megintcsak kimaradtak bizonyos kategóriák, és az igényérvényesítés végső időpontját 1969. december 31. napjával határozták meg, sokan továbbra is úgy érezték, hogy a kérdés nincs rendezve.

A restitúciós igényérvényesítés körében azt kellett volna mérlegelni, hogy a megkülönböztetés alapján jogfosztottak a tulajdoni igényeiket úgy tudják érvényesíteni, ha bizonyos törvényeket visszamenőleg is semmissé nyilvánítanak. Erre azonban csak 1968. február 14-én került sor, azáltal, hogy a Német Szövetségi Alkotmánybíróság kimondta az 1941. november 25-i törvény¹² semmisségét, ezzel kodifikálta a Gustav Radbruch-i formulát. 1946-ban állította fel Radbruch azt a tézist, hogy a pozitív jog és az igazság között akkor kell a pozitív jog ellen és az igazság mellett lándzsát törni, ha az adott pozitív jog „elviselhetetlenül igazságtalannak” tekinthető, vagy a jogalkalmazó tudatosan tagadja a törvényre hivatkozással az emberi egyenlőség alapelvét.

Ezen rendező elv alapján a nemzeti szocializmus éveiben született törvényeknek három kategóriája rajzolódott ki:

- azon jogszabályok, amelyek akkor is érvényesek, ha igazságtalanok; ide tartoztak az 1945-ben ugyan hatályon kívül helyezett törvények, de fennállásuk idejére érvényesnek tekintendők;

¹² Elfte Verordnung zum Reichsbürgergesetz, amely kimondta a deportáltak állampolgárságtól és vagyonától való megfosztását.

- azon jogszabályok, amelyek elviselhetetlenül igazságtalanok, így retroaktív módon kell őket semmissé nyilvánítani;
- azon jogszabályok köre, amelyek nem is célozzák az igazságosságot, így ezek nem is minősülhetnek jogszabálynak, úgy kell tekinteni őket, mintha meg sem születtek volna.

A BGB-ben lefektetett, 30 éves abszolút elévülési határidő átmenetileg az *affaire classée* sorsra száműzte a restitúció kérdését. Új lendületet az 1990-es években kapott, amikor a két Németország egyesítése kapcsán napirendre került a szocializmus idején történt államosított vagyon restitúciója. Az NDK parlamentjének egyik utolsó törvénye 1990. szeptember 29-én kimondta az 1945 utáni államosításhoz kötött vagyonvesztések eredeti állapotának helyreállítását, valamint a Jewish Claims szervezetek nyomására, kiterjesztette a törvény hatályát az 1933–1945 közötti üldözött személyek vagyonvesztésének tárgykörére is.

1998. január 1-én nyílt meg a New York-i Museum of Modern Artban egy igen nagy vihart kavart kiállítás. A bécsi Leopold Múzeum két kölcsönbe adott Egon Schiele festményét¹³ lefoglalták a korábbi tulajdonosok örökösei, ráirányítva ezzel a sajtó és a közvélemény figyelmét, hogy a restitúció kérdése még messze nincs lezárva.

Ugyanezen év decemberében ült össze a Washington Conference on Holocaust-Era Assets, amelynek eredményeképpen a negyvennégy részt vevő ország, tizenkét NGO (civilszervezet) és a Vatikán aláírták az ún. Washingtoni Nyilatkozatot, amelyben az aláírók tizenegy pontba foglalva kötelezték el magukat, hogy a megfogalmazott alapelveknek érvényt szereznek, így különösen a nem-

¹³ *Tote Stadt* III, 1911 és *Wally*, 1912

zetiszocializmus idején elrabolt műtárgyak hollétét, a jogos tulajdonosokat vagy örököseiket felkutatják, valamint gyors és igazságos megoldásokat szorgalmaznak.

A Washingtoni Nyilatkozat alapján nem nyíltak meg újra a korábbi restitúciós törvények szerinti, egyéni igényérvényesítési jogok. A kötelezettségvállalások az országok részéről önkéntesek és morális alapúak, valójában az intézmények részére adnak iránymutatást a bizonytalan eredetű tulajdonuk kezelésére.

A restitúció praktikus lépései

Németország és szövetségesei a II. világháború végén kaotikus helyzetben találták magukat, hiszen a faji üldözöttek, kifosztottak műtárgyainak sokasága, hozzávetőlegesen ötmillió tétel, szerteszóródott az ország területén és Ausztriában, sokszor külföldre vagy magánkézre került, múzeumokba, raktárakba lett betárolva, ahol keveredett azon tárgyakkal, amelyeket a múzeumok csak megőrzésre menekítettek oda, és a múzeumok jogos tulajdonát képezték. A helyzetet bonyolította az is, hogy az 1945-ös Potsdami Egyezmény után Németország területe angol, amerikai, francia és szovjet szektorokra lett osztva, és ezek felségterületi igazgatása alá került, az Oderától keletre eső területek pedig effektív lengyel felségterületté váltak.

Az amerikai és az angol szektorokban 1945–1950 között 2,5 millió tárgyat restitáltak, 1944–1947 között a szovjetek hozzávetőlegesen 1,8–2,6¹⁴ millió tételt a Szovjetunióba hurcoltak, amelyből 1,5–1,6 millió tételt később az NDK,¹⁵ illetve egyéb szocialista blokk-

beli baráti országoknak visszajuttattak. Franciaország még mindig kb. kétezer tárgyat kezel letétként, és még mindig százezer feletti az eltűnt tárgyak száma (Petropoulos, 2000).

Számos műtárgycsere is bonyolódott a hidegháborús években a nyugati és keleti hatalmak között, azonban még mindig sok olyan tárgy van a volt Szovjetunió területén, amelynek sorsa nincs rendezve, részben a nehezen azonosítható tulajdoni kérdések, származás, részben a megfelelő szándék hiányának okán. Ez a helyzet a mai napig nemzetközi konfliktusok forrása.

Németország tulajdoni igényét most már az orosz állammal szemben az 1907-es Hágai Egyezményre alapítja, amely szabályozta a kulturális javak védelmét fegyveres összeütközés esetén. 1990-ben további fontos együtműködési egyezmény (BGBL, 1991, II/702.) született Németország és Oroszország között, amelynek alapján komoly eszmecserek kezdődtek el a két ország között. Hamarosan azonban zátonyra futott a kezdeményezés, és 1996-ban a Duma, ignorálva Németország nemzetközi jogon alapuló igényeit, orosz állami tulajdonná nyilvánította az elrabolt műtárgyakat,¹⁶ kijelentve, hogy igen kevés kivételt¹⁷ engedve, a II. világháború saját áldozatainak kárpótlására szolgáló „reparációs restitúciónak” tekintik azokat a vagyontárgyakat, amelyek a II. világháború után nyilvános gyűjteményekből, levéltárakból és könyvtárakból kerültek a Szovjetunióba.

A nehezen elmozdítható politikai álláspontok ellenére a két ország muzeológusai között jó együttműködés van. 2005-ben megalkult a Német–Orosz Múzeumdialogus, és

2007-ben Moszkvában és Szentpéterváron megrendezésre került az *Európa határok nélkül* című kiállítás, ahol számtalan kiállítási darab a II. világháborút követő elhurcolásból származott, és Berlinből is érkeztek kölcsöntételek a kiállítás kiegészítésére.

Az *Entartete Kunst* akciónak áldozatul esett műalkotások sorsa némiképp eltérően alakult.

Olyan törvény, amely a lefoglalásokat szentesítette, csak 1938. május 31-én született (RGrB, 1938, I/612.), és csak 1968-ban vesztette hatályát azáltal, hogy nem vették fel a *Bundes Gesetzblatt*-ba. Így módon igények sem tudtak esetleges restitúcióra, eredeti állapot helyreállítására megnyílni, hiszen jogosan járt el a közhatalom, amikor saját tulajdonában, állami tulajdonban álló műalkotások elidegenítése, illetve megsemmisítése felől döntött, az értékesítési szerződéseket így sem az eladó állam, sem a vevők nem támadták meg.

Kivételesek voltak azok az esetek, ahol magánszemélyek voltak az érintettek, mint az ismert művészettörténész Sophie Lissitzky-Küppers, aki a hannoveri múzeumnak adott kölcsön tizenhárom festményt, amelyek áldozatul estek a lefoglalásoknak. Hasonló sorsra jutottak Frieda Döring gyűjteményének darbjai, amelyek a stetini városi múzeum lefoglalási hullámába estek bele. Az 1960-as években az örökösök hiába pereltek az USA 59. rendelete alapján: a műtárgyak visszaadására, illetve kártalanításra az álláspont egységesen az volt, hogy az illető személyek nem álltak diszkriminatív üldözés alatt, vagyontárgyaik ellenszolgáltatás nélküli államosítása nem áll közvetlen összefüggésben az ő személyükkel, így a vonatkozó rendelet nem alkalmazandó.

Hosszú évtizedek politikai és világnézeti vitáinak eredményeképpen mégis elterjedt az a jogi álláspont, hogy a radbruchi képlet al-

kalmazandó ezekben az esetekben is, így az 1938-as lefoglalási törvény semmissége kimondandó.

A Washingtoni Nyilatkozat éveit követően több látványos restitúció ment végbe, az aláíró országok azonban eltérő lelkesedéssel fogtak hozzá a washingtoni alapelvek gyakorlati megvalósításához. Németország létrehozott egy központi koordinációs irodát Magdeburgban, megszületett egy ingyenesen hozzáférhető internetes adatbázis *Lost Art Register* néven. 2003. július 14-én életre hívták a Limbach-bizottságot,¹⁸ amely kvázi választott bírósággént működik, döntései nem kötelező erejűek, és vitás esetekben ajánlásokat ad.

A restitúció magyarországi relevanciája

Magyarország is aláírója a Washingtoni Nyilatkozatnak, hiszen a II. világháborúban elfoglalt stratégiai pozícióját illetően hazánkra is hárultak restitúciós kötelezettségek, mint sok egyéb európai országra is, nem feltétlenül a geostratégiai helyzetük, hanem sok esetben az események alakulásából következően.

1944. március 19-ét követően Magyarországon is elrendelték a zsidó tulajdonban álló műtárgyak állami letétbe vételét, majd a lefoglalt tárgyak tetemes részét a Szépművészeti Múzeumban lajstromozták. Az év vége felé, függetlenül a tulajdoni helyzetüktől, a Szálasi kormány a legtöbb nyilvános gyűjtemény remekműveit Németországba szállíttatta. A német hadsereg a fosztogatások zsákmányait is magával vitte a III. Birodalom területére. 1946–1947 folyamán sok tétel a müncheni gyűjtőpontokból visszakérült Magyarországra, azok a tételek azonban, amelyek Németország keleti részében kötöttek ki, nyomtalanul tűntek el a szovjet szektorban. Az 1946. évi XXV.

¹⁸ Első elnökéről, Jutta Limbachról elnevezve.

¹⁴ A különböző források eltérő számadatokat közölnek, pontosan nem határozható meg.

¹⁵ Többek között a híres Pergamon-oltár mozaik lapjai, Donatello *Madonna gyermekkel* festménye és Botticelli *Isteni színjáték*-illusztrációi.

¹⁶ 1999. július 20-án lépett életbe

¹⁷ Kizárólag magántulajdonból, egyházi és zsidó tulajdonból származó néhány tételre lett engedmény téve.

törvénycikk alapján a magyar restitúciós bizottság nyomában nekifogott a műtárgyak visszaszolgáltatásának, ami 1947-ig annyira le is bonyolódott, amennyire módjában állt a bizottságnak, hiszen a németországi helyzethez hasonlóan sok tárgy, illetve tulajdonosa nehezen volt azonosítható, eltűnt, elmenekült vagy meghalt. A kommunista hatalomátvétel azonban hirtelen véget vetett a restitúciós lendületnek. A szovjetek a még meglevő műtárgyakat a múzeumokból lefoglalták, és saját háborús jóvátételi igényeik fedezésére elhurcolták.

1954-ben¹⁹ történt kezdeményezés a nyilvános gyűjteményekben fellelhető, letétben levő műtárgyak tulajdoni helyzetének tisztázására, azonban komoly nemzetközi kötelezettségvállalás csak 1978-ban történt az 1970-es Unesco Egyezmény²⁰ ratifikálásával. A rendszerváltás hozta meg az 1990-es években a magántulajdon sérthetetlenségének polgárjogi értelemben vett „újból” tényleges elismerését (21/1990 [X.4.] AB határozat.), amely következtében megszülettek a kárpótlási törvények²¹ is. 1997-ben a jogtalanul elkobzott és gazdátlanul maradt vagyon tárgyak sorsát rendező jogszabály

bály²² is napvilágot látott, amelynek értelmében az ilyen tételeket a megfelelő zsidó utód-szervezetnek kell átadni. 1998-ban Magyarország is ratifikálta az 1995-ös UNIDROIT Egyezményt, amely a nemzetközi joggyakorlat számára kívánta univerzálisan megteremteni a kulturális javak iránti tiszteletet. A Magyar Köztársaság Parlamentje is kiadott egy nyilatkozatot, amely értelmében a kulturális javak iránti igényérvényesítés nincs időbeli határhoz kötve. Ezzel kiemelte az ország morális elkötelezettségét a sérelmet szenvedett személyek irányába teljesítendő igazságosság-szolgáltatás mellett. E morális kötelezettségvállalás teljesebb ki a Washingtoni Nyilatkozat aláírásában, amelynek implementációja terén azonban Magyarország kevés eredményt tud felmutatni.

Mint Németország esetében, Magyarországon is számtalan lezáratlan ügy sokasodik. A Herzog-hagyaték ügye vagy a Magyar Állam igénye a Szovjetunió utódjával, Oroszországgal szemben, amely hasonló sorsa jutott, mint a német igény az 1996-os Duma-határozat nyomán.

Facit

A jog klasszikus eszközei nem minden esetben tudnak megfelelő receptet adni egy jogszerűtlen helyzet orvoslására. Boytha György így fogalmaz: „a kártérítés is ritkán tudja helyettesíteni a restitúciót és e két jogintézmény kölcsönhatása igen kényes kérdés. Főleg azokban az esetekben, ahol az eredeti tulajdonos irányába történt kompenzáció, vagy ahol a restitúció igénye a későbbi jóhiszemű szerzővel szemben is felülkerekedik, és az ő irányába

¹⁹ 1954. évi 13. tvr. a múzeumokról és műemlékekről szóló 1949. évi 13. tvr. (november 16.) kiegészítéséről és módosításáról (máj. 12.)

²⁰ Convention on the Means of Prohibiting and Preventing the Illicit Import, Export and Transfer of Ownership of Cultural Property 1970, Paris, 14 November 1970.

²¹ 1991. évi XXV. törvény a tulajdonviszonyok rendezése érdekében, az állam által az állampolgárok tulajdonában igazságtalanul okozott károk részleges kárpótlásáról, egységes szerkezetben a végrehajtásáról szóló 104/1991. (VIII. 3.) Korm. rendelettel és az 1992. évi XXIV. törvény a tulajdonviszonyok rendezése érdekében, az állam által az állampolgárok tulajdonában az 1939. május 1-jétől 1949. június 8-ig terjedő időben alkotott jogszabályok alkalmazásával igazságtalanul okozott károk részleges kárpótlásáról.

²² 1997. évi X. törvény a Párizsi Békeszerződésről szóló 1947. évi XVIII. törvény 27. cikke 2. pontjában foglalt végrehajtásáról

generál kompenzációs kötelezettséget” (Boytha, [2003] 2015). Boytha ezen gondolata egy konkrét tulajdonjogi probléma mentén megfogalmazza a jog egyik örök kérdését: ennyi év távlatából mindig felmerül a történelmi igazságosság kérdése? Melyik tulajdonossal szemben legyen a jog igazságos? A morális

kötelezettségek sokszor az adott jogalkalmazási megközelítés újragondolását sürgetik, amely újragondolás azonban mindig kihat a jogbiztonság egészére.

Kulcsszavak: *restitúció, tulajdonjog, műtárgyak, jogbiztonság*

IRODALOM

Boytha György ([2003] 2015): Hungary and the Issue of Restitution of Cultural Objects. In: *Boytha György válogatott írásai*. (szerk.: Csehi Zoltán) Gondolat, Budapest

Petropoulos, Jonathan: *Written Comments for House*

Banking Committee. Hearing of 10th February 2000, Washington • <http://archives.financialservices.house.gov/banking/21000pet.shtml>

Reinhard von Godin: *Rückerstattung feststellbarer Vermögensgegenstände in der amerikanischen Besatzungszone*, de Gruyter, 1948



KÉTSZÁZHÚSZ ÉV AZ OKTATÁSÉRT, TUDOMÁNYÉRT ÉS KULTÚRÁÉRT: A HUXLEY CSALÁD

Farkas Ákos

PhD, Dr. habil., Eötvös Loránd Tudományegyetem Angol–Amerikai Intézet Angol Tanszék
farkas.akos@btk.elte.hu

„Végre egy regényíró, aki úgy tud beszélni a természettudomány dolgairól, hogy nem áll égnek tőle a tudósember haja” (Gabor, 1965, 66.).¹ E szavakkal idézi fel Gábor Dénes egy emberöltő távlatából első, szellemi találkozását a *Szép új világ* című tudományos-fantasztikus ellenutópia szerzőjével. Az Aldous Huxley 1894–1963: Visszaemlékezések könyve (*Aldous Huxley 1894–1963: A Memorial Volume*, 1965) című kötet neves szerzői közül világhírű honfitársunk volt az egyetlen, aki nem a személyes ismeretség jogán oszthatta meg a jeles angol író alakját idéző emlékeit az érdeklődő nagyközönséggel. Az egyetlen magyar, mi több, közép-európai hátterű hírességnek címzett megtisztelő felkérés T. S. Eliottal, Gerald Hearddel, André Maurois-val és a többi társszerzővel ellentétben nem a nagy emberhez fűződő baráti vagy családi kapcsolatnak szólt, hanem a hasonló beállítottságból és a nemes ügyek iránti közös elkötelezettségből fakadó láthatatlan kötelékeknek. Röviddel a Huxley-tárgyú visszaemlékezés megjelenése előtt *Találjuk fel a jövőt!* (*Inventing the*

Future, 1963) címmel publikált nagy ívű tanulmányában Gábor Dénes az emberiségre leselkedő három legnagyobb veszély, a világháború, a globális túlnépesedés és a technikai fejlődéssel járó szabadidő-felesleg fenyegetéseire hívta fel a figyelmet. Bevallottan Huxley ihlette futurologiai könyvével a holográfia feltalálója írói névjegyét már a Huxley-emlékkötetben közölt kisesszéje előtt letette. A reneszánsz kor polihisztorait idéző sokoldalúságában Gábor Dénes osztozott az eredetileg ugyancsak természettudományos pályára szánt, attól csak ifjúkori szembetegsége miatt eltanácsolt Aldous Huxley-val.

De miért érdemes kitérni itt a Nobel-díjas magyar tudós és a világhírű angol író szellemi kapcsolatára? Hogyan köthető Gábor Dénes és Aldous Huxley lelki rokonságának kérdése egy olyan előadás témájához, melynek elsődleges célja egy másik zseni és egy másik Huxley, Julian Sorell Huxley (1887–1975) évfordulós méltatása?² Valójában meglehetősen sok. Narratívánkban ugyanis nem Gábor Dénes

² Jelen tanulmány szerző azonos című előadásán alapul, amely az UNESCO megalapításának 70. évfordulója alkalmából az UNESCO Magyar Nemzeti Bizottsága és az MTA szervezésében 2015. november 26-án megrendezett konferencián hangzott el az MTA székházában.

az egyedüli természettudós író, és nem Aldous Huxley az egyetlen, a természettudományokban is eligazodni képes irodalmár. Évfordulós megemlékezésünk tulajdonképpen hőse, Julian, Aldous testvérbátyja maga is a sokoldalú vagy, ahogy öccse korai írásaiban fogalmaz, a teljes ember (*the complete man*) eszményének megtestesítője volt (1929, 72, 278.). Sir Julian Huxley, az ornitológia, a zoológia, az örökléstan, az evolúciós biológia és még számos diszciplína sikeres művelője a huszadik század egyik legelismertebb nemzetközi tudományszervezője volt. Egyebek közt mint a londoni állatkert, a *Zoological Society of London* igazgatója, a Természetvédelmi Világalap, a WWF alapítója, a brit tudományos akadémia, a *Royal Society* tagja, és – ami számunkra itt a legfontosabb – 1946-tól mint az UNESCO első főigazgatója tevékenykedett. Mindemellett Julian komoly írói babérokat is magáénak tudhatott. Ezt példázzák főbb művei: az első jelentősebb kötet, az *Élet és halál: Egy biológus esszéi* (*Essays of a Biologist*, 1923), a Herbert George Wells-szel közösen jegyzett, nagysikerű munka, *Az élet csodái* (*The Science of Life*, 1929–30), vagy a náci fajelmélet áltudományos tételeit elutasításukkor ízekre szedő *Az európai „fajkérdés”* (*We Europeans: A Survey of Racial Problems*, 1935) –, hogy negyvennél is több könyve közül csak a magyarra is lefordítottakat említsük.

A két Huxley-testvér egymást kiegészítő, egymással vetélkedő tehetségének kettős pályaképe nem lenne teljes a harmadik, a legfiatalabb Huxley-fivér, az idegéletani kutatásaival orvosi Nobel-díjat kiérdemlő Sir Andrew Fielding Huxley (1917–2012) említése nélkül. Három nemzetközi híresség, három ragyogó karrier, egyetlenegy család. Már ennyi is elég lenne, hogy a kivételes tehetség örökletes és környezeti összetevőit kutató tudományág, a

Magyar Beck István és Czeizel Endre nevéhez köthető kreatológia fontos esettanulmányának tekintse a három Huxley-fiú életművét.

Hát még, ha visszamegyünk az időben – valamivel több, mint két évszázadot. Nagyjából kétszázhusz éve ugyanis annak, hogy 1795 egy nyári napján a Csatorna-szigetek legnagyobbikaként is eldugott, provinciális helynek számító Wight-szigeten meglátta a napvilágot a Huxley-fiúk anyai ágának első közismertté lett felmenője, idősebb Thomas Arnold (1795–1842). Az a Thomas Arnold, akinek sírhelyéhez tett angliai zárandoklatának során Pierre de Coubertin báró a néhai iskolaigazgató sírkövében a birodalom szegletkövét vélte felsejleni. Meglehet, az újkori olimpiák megalapítója utóbb a valóságosnál nagyobb jelentőséget tulajdonított a híres Rugby magániskola első igazgatójának a csapatsportok angliai és nemzetközi meghonosításában, a sírhely láttán tett kijelentés lényegét tekintve mégiscsak helytállónak mondható. A brit világbirodalom kiépítésében és fenntartásában kétségkívül meghatározó szerepet játszott az az uralkodásra nevelt embertípus, a brit gentleman típusa, amely az Arnold vezette Rugby-iskola mintáját követő elit bentlakásos magániskolák – a híres *public school*-ok – padjaiból kikerülve irányította és működtette Viktória királynő hatalmas impériumát.

Ennek a birodalmi elitnek a társadalmi peremén, a tudomány és az oktatás határvidékein szerzett azután hírnevet magának az állat- és madártan jeles művelője, az evolúciós biológia második legfontosabb korai képviselője, Charles Darwin jobbkeze – korabeli gúnynevéen „Darwin bulldogja” – Thomas Henry Huxley (1825–1895). Közismert nevén T. H. Huxley személyében nemcsak a tudományos világnézet legnagyobb hatású kora-

¹ Ha külön lábjegyzet nem utal a fordító személyére, az angol nyelvű forrásokból vett idézetek a szerző magyar fordításában szerepelnek itt és az alábbiakban.

beli hirdetőjét, a „majomember”-vitákban elhíresült, félelmetes debattert, a természettudományos oktatás általánossá tételének bajnokát és a jó tollú közíró tiszteletét. Pedig a Huxley-dinasztia alapítójának e tekintetben sem volt röstellnivalója. Egy hálás levelében Darwin maga így nyilatkozott az Oxfordban tartott nyilvános előadásáról hazatérő T. H. Huxley-nak *A fajok eredete* című forradalmi opus meg- és elismertetésében játszott szerepéről: „Roppant fontossággal bír, hogy a világ előtt nyilvánvaló legyen: a legkiválóbb férfiak nem félnek hangot adni meggyőződésüknek. Minden egyes nappal világosabban látom, hogy Könyvem egymagában az évilágon semmit sem vitt volna végbe” (idézi Clark, 1968, 61.).

Ami az UNESCO-évforduló szempontjából ennél is fontosabb azonban: T. H. Huxley a három, egymástól első látásra igencsak távol eső területen hírnévre jutott Huxley-leszármazott ihlető példájú nagyapjaként is beírta nevét az európai szellem történetébe. A medúzáról publikált tanulmányát sajátkezü tusrajzaival illusztráló, a Dantét eredetiben olvasó, a költőfejedelem Alfred Tennyson atyai barátságát élvező Thomas Henry Huxley számára egy pillanatig sem volt kétséges, hogy a világ megismerésének két, látszólag ellentétes módozata csakis együtt, egymást segítve-kiegészítve szolgálhatja az embert. „Irodalom és tudomány – összegzi tudásfilozófiáját a Huxley-pátriárka – nem két különálló valami, hanem ugyanannak a valaminek két oldala” (idézi Clark, 1968, xv.).

A művészetek, az irodalom és a humaniorák iránti fogékonysága ellenére Darwin bulldogját, *Az ember helye a természetben* (*Man's Place in Nature*, 1863) című *magnum opus* megalkotóját, a *Royal Society* elnökeként Isaac Newton utódát, Thomas Henry Hux-

leyt azért mégis inkább természettudósnak, mint művészeknek vagy irodalmárnak tekinti az utókor. Ezen még az sem változtat, hogy a nagy Huxley-előd 1895-ben bekövetkezett halálát közvetlenül követő időszakban megjelent két életrajz egyike a „tollforgató férfiak” (*men of letters*) című sorozatban jelent meg –, hiszen a másik korai életrajz az életmű egészét tekintve magától értetődőbb „tudós férfiak” (*men of science*) biográfiai kiadványok sorában látott napvilágot (Clark, 1968, 121.). Ha azonban az ős-Huxley-t mégiscsak inkább a reáliák, mint a humaniorák művelőjeként tartja számon az utókor, akkor vajon honnan a huszadik századi leszármazottak, Aldous és Julian Huxley különböző mértékben, de a nagy elődnél mindkettejükben karakteresebben megnyilatkozó irodalmi-művészeti talentuma? Kitől, melyik felmenőtől örökölhette Julian nemzetközileg is elismert előadói és ismeretterjesztői, öccse, Aldous pedig világvizonylatban is egyedülálló szépirodalmi tehetségét?

Hogy pontosan azonosíthassuk a Huxley-fivérek, az elsősorban biológusként számon tartott Julian és a mindenekelőtt regényíróként jegyzett Aldous Huxley kettős tehetségének családi eredetét, röviden vissza kell térnünk a felmenők másik, Arnold-féle ágához. Julian és Aldous édesanyja, Julia, Arnold-lány volt, a már említett iskolaigazgató, idősebb Thomas Arnold unokája, az irodalomtudós ifjabb Tom Arnold leánygyermeké, az egykor rendkívül népszerű író, Mrs. Humphrey Ward húga.

És ami a legfontosabb: Julia atyai nagybátyjában a viktoriánus Anglia egyik legnagyobb hatású gondolkodóját, Matthew Arnoldot (1822–1888) tisztelhetjük. A jeles költő, bölcslő és oktatáspolitikus fontosságát számunkra itt a Huxley-nagyapával az egyetemi képzés

kíváncsi irányú átalakításáról folytatott vitája adja meg. A baráti hangnemű, de komoly tétre menő disputa ellentétes álláspontjainak legtisztább megfogalmazását a két vitapartner 1880-ban, majd 1882-ben megtartott nyilvános egyetemi előadásában érhetjük tetten: a *Tudomány és kultúra* (*Science and Culture*) címet viselő Huxley-beszédben, illetve az *Irodalom és tudomány* (*Literature and Science*) címmel megtartott Arnold-előadásban. Megállapítható, hogy bár mindkét opponens elismeri az ellenoldal képviselte diszciplína létjogosultságát, Huxley – mint várható – a természettudományok, Arnold viszont a humán tudományok kiemelt fontossága mellett tör lándzsát. „Az igazi műveltség megszerzésének a tisztán természettudományos oktatás legalább annyira hatékony eszköze, mint amennyire a tisztán irodalmi oktatás” – szögezi le Thomas Henry Huxley (Huxley, T. H., 2011, 141.). Erre – és T. H. Huxley darwini fogantatású munkáira is reflektálva – Matthew Arnold így felel: „már a szőrös, hegyes fülekkel és farokkal ékes, minden bizonnyal a fák tetején honos négylábú lény [...] természetében is ott bujkált a hajlam, mely arra rendeltetett, hogy belőle a szépirodalom iránti igény fejlődjék ki egykor”. Ehhez Arnold hozzászól még: „mi több, szőrös testű ősünk természete magában hordozta a görög nyelv iránti igényt is” (Arnold, 1961, 396).

Mint Thomas Henry Huxley unokája, Aldous Huxley találoan megállapítja, ez utóbbi kijelentés még a nagyműveltségű és Matthew Arnolddal amúgy baráti nexust ápoló Thomas Henry Huxley legendás tűrőképeségét is próbára tehetné. A biológus Huxley-előd meggyőződése szerint, vélekedik nagyapja nyomán Aldous, az ember legfőbb szellemi szükséglete a görög nyelv iránti vágy, „sokkal inkább irányul a tudomány módsze-

reinek és eredményeinek” birtokbavételére (Huxley, A., 1963, 2).

És ezzel vissza is térünk a huszadik századba, Julian és Aldous Huxley-hoz. (Azért csak kettőjükhez, mert a közös édesapa második házasságából született Andrew már „csak” Huxley-unoka volt, Arnold-felmenők nélkül; ő Julia halála után Rosalind Bruce-tól, Leonard Huxley második feleségétől született). Mint láttuk, a tizenkilencedik századi elődök nemcsak hírnevüket és hatásukat tekintve, hanem szellemi arculatuk és pályaképük eltérő rajzolatában is megelégteltek jeles leszármazottaikat, Juliant és Aldoust. Csakúgy, mint Viktória-kori felmenőik, a még náluk is híresebb utódok is egymást támogatva-elismerve bár, de külön utakon jártak. A Huxley- és az Arnold-gének eltérő kombinációjából két, hasonlóságában is nagyon különböző karaktert formált az idő és a környezet. A Huxley-család tudós krónikásának okfejtése nyomán bátran megállapíthatjuk, hogy míg Julian inkább a Huxley-féle tudományos örökséget vitte tovább, addig Aldous mindenekelőtt az Arnold-vonalra jellemző művészi-irodalmi hajlamot teljesítette ki (Clark, 1968, 140., 142.).

Kettejük és az utókor nagy szerencséje, hogy egyikőjük sem röstellt tanulni fivéréitől. Aldous aligha vívhatta volna ki Gábor Dénes fent idézett elismerését, ha a *Szép új világ* (*Brave New World*, 1932) kasztrendszerét megalapozó magzatmanipuláció, a klónozás módszerét megelőlegező „Bokanovszkij-eljárás”, vagy az anyagtakarékos recikláció leírásához nem természettudós bátyjánál, Juliannál tájékozódik a prenatális hatásmechanizmusok, az örökléstan vagy a foszfátok ipari és mezőgazdasági hasznosításának bonyolult kérdései felől. Aldous későbbi, *És múltak az évek* (*After Many a Summer*, 1939)

című regénye, amely az emberi élet szinte korlátlan meghosszabbításának ötletével játszva gúnyolja ki a fogyasztói társadalmak fiatalságkultuszát, talán meg sem született volna az ugyancsak a bátytól, Juliantól származó, halbiológiai – bizonyos skóciai pontyfajták meghökkenítő élettartamára utaló – információk nélkül (Clark, 1968, 296.).

Julian maga szerényen tagadta az efféle konkrétumok meghatározó jelentőségét. „Téves az a közkeletű elképzelés – vélekedik az öccse emlékének szentelt kötetben –, hogy Aldous tölem kért volna segítséget a biológiai kapcsolatos azon tények és ötletek dolgában, melyeket olyan zseniálisan használt fel a *Szép új világban*” (Huxley, J., 1965, 22.). Aligha vitatható, hogy az eredetileg orvosi pályára készülő és attól csak ifjúkori szembevetése által eltérített, majd világjáró útjain az *Encyclopaedia Britannica* kötetait minden-hová magával hurcoló és azok természettudományos szócikkeit szépirodalom helyett is olvasgató Aldous valóban nem csak biológus bátyjától szerezte leltani ismereteit. Azt azonban a saját szerepét kibővítő Julian sem vitatta, hogy előtanulmányai és olvasmányai mellett a vele, Juliannel és tudós kollégáival folytatott alkalmi beszélgetések is minden bizonnyal megtermékenyítően hatottak a regényíró testvérré. Ami ennél is fontosabb, ezekből az alkalmi eszmecserékből „mi, [biológusok] épp annyit profitáltunk – teszi hozzá Julian –, mint amennyit Aldous öcsém” (Huxley, J., 1965, 22.).

Hogy mi mindent profitálhatott Julian ezekből a testvéri találkozásokból, arra egy Mexikóban tett hivatalos látogatása világít rá. Az idősebb Huxley-fivér ideje jelentős részét a közép-amerikai régió művészetének tanulmányozására szánta. Meglehet, az ilyesmit el is várták egy ENSZ-szervezet vezető tisztség-

viselőjétől, ám a kortársak tanúsága szerint Julian egész életében őszinte, belülről fakadó érdeklődést mutatott a művészet és az irodalom iránt, már jóval azelőtt, hogy a formálódó UNESCO-hoz bármi köze lehetett volna. Köztudott volt az is, hogy a művészet társadalmi szerepének fontossága egyik kedvenc témája volt, valahányszor alkalma adódott rá, hogy öccsével, Aldousszal leüljön beszélgetni.

Talán éppen ezeknek a testvérek közötti beszélgetéseknek tudható be, hogy az Aldous több művészet- és kultúrtörténeti írásában is főszerepet játszó Avilai Szt. Teréz, William Blake és William Wordsworth mind visszatérő szereplő Julian esszéiben és tanulmányaiban is, kivált azokban, melyekben mindketjük kedvenc témájáról, a kvázi-transzcendens élmények fiziológiai alapjairól értekezik. Ezek közül a párhuzamok közül az egyik legérdekesebb, amit a két fivér az emberi lét-állapot meghaladásának módozatairól, pontosabban annak irányairól vall. A hétköznapi létezés fojtogatóan rutinszerű keretei közül kitörhetünk lefelé, felfelé vagy oldalirányban, állapítja meg Aldous nyomán és vele egybehangzóan Julian. Csakhogy míg a horizontális – például a sport, a hobbik vagy az ártalmatlan szórakozás felé irányuló – kitörés tartalmát a testvérek hasonlóképp határozzák meg, a vertikális menekülés lefelé irányuló útvonala kettejükénél már kétfelé vezet. Julian az eszképzizmus legpusztítóbb fajtáját a részegkedésben, a drogfüggőségben és általában a kicsapongásban látja (Huxley, J., 1961, 29.), Aldous számára viszont az önmagunkból való kilépés legrosszabb, erkölcsileg legelfogadhatatlanabb módja a tudatosan gerjesztett tömeghisztéria (Huxley, A., 1952, 374.). Hogy az idősebb Huxley a fékevesztett mámorokban, míg író öccse az önérdekű politikai hangulatkeltésben látta a pokolba vezető

legegyenesebb utat, az eltérő adottságaikon túl talán kétféle hivatásuk ethosza közti alapvető különbségekre is visszavezethető. Nem meglepő, ha másban látja a legfőbb rosszat a tudomány és a művészet embere. A gondolati struktúra átfedésben van, a tartalom lényeges pontokban különbözik.

Az eltérésekről a párhuzamokra visszatérve az is minden bizonnyal a fiatalabb testvér bátyjára tett hatását tükrözi, hogy Julian a nyelvtudomány, és azon belül az Aldous szerint is meghatározó fontosságú szemantika intézményi támogatásának szükségességére tér ki egy természettudóstól meglepő hangsúllyal és gyakorisággal az UNESCO céljait és filozófiáját körvonalázó pamfletjében (Huxley, J., 1946, 45–46.). A nyelv és a nyelvtudomány különös jelentőségét nemcsak az említések ismétlődései jelzik, hanem az is, hogy milyen más, a társadalmi elkötelezettségű természettudós számára létfontosságú kérdésekkel egy sorban kerül terítékre. Az UNESCO informális programtervének filozófiatudományi szakaszában a kiemelten támogatandó területek közt a tudományfilozófiával és az elméleti esztétikával, a társadalomtudományi fejezetben pedig a népesedéspolitikai és a környezetvédelem kérdéskörével kerül egyazon szintre a jelentés tudománya, a szemantika. A pamfletet tanulmányozva arra is választ kapunk, hogy a globális problémák oktatási, tudományos és kulturális megközelítése tekintetében az UNESCO leendő főtitkára számára miért bír megkülönböztetett fontossággal a nyelv és a nyelvhasználat szisztematikus tanulmányozása: „A nyelv vizsgálata, különösképpen az annak tudományos alapját képező szemantika, megkerülhetetlen állomás a nyelv mint kommunikációs és valószínűleg ábrázoló eszköz tökéletesítése felé vezető úton, és egyben védelmet ad azzal a veszéllyel

szemben, hogy félreértjük, ahelyett hogy megértenénk egymást.” (Huxley, J., 1946, 45.)

Mondani sem kell, Aldous Huxley már csak írói hivatásánál fogva is bátyjához hasonló jelentőséget tulajdonított a nyelvvel mint eszközzel való helyes – ha tetszik tudományosan megalapozott – bánásmódnak. „A szavak, ha megfelelően használjuk őket, olyanok, mint a röntgensugár: bármin áthatolnak” – állapítja meg a *Szép új világ* itt akár Aldous Huxley szócsövének is tekinthető író-figurája, Helmholtz Watson (Huxley, A., 2008, 85.).³ A nyelv – és konkrétan a tudományos nyelv – korlátainak felismerése az ifjabbik Huxley-fivér szerint éppoly fontos, mint potenciáljának minél teljesebb kihasználása. „Sem a köznyelvben, sem a tudomány nyelvében nem találunk olyan idiómát, amellyel a szellem természete és működése megfelelően leírható lenne,” olvashatjuk Aldous egy korai esszéjében (Huxley, A., 1927, 244.). Az emberi tapasztalásnak a köznyelvi és tudományos idioma számára elérhetetlen elemei egy másfajta regiszterben mégiscsak megragadhatók. Ez a regiszter a szépirodalom regisztere. Ahogy az *Irodalom és tudomány* (*Literature and Science*) című nagyesszéjében Aldous Huxley fogalmaz, „az emberi tapasztalás ezen rejtettebb elemeinek közlése az, amire az írás művésze törekszik” (Huxley, A., 1963, 11.).

Az UNESCO alapkoncepcióját 1945-ben megfogalmazó Julian még nem olvashatta öccse ez utóbbi, poszthumusz megjelent írását, ám Aldous szépirodalmi munkásságának egésze pontosan arra mutatott számára példát, hogy miként fejezheti ki a tudományos diskurzus számára megragadhatatlan, de éppenséggel a tudományos megismerés

³ Totth Benedek fordítása.

folymatában szerzett személyes tapasztalatokat. A természettudós művészi kifejezés után kiáltó élményeire jó példa egy énekesmadárral: a zöld küllővel való ifjúkori találkozás leírása. Az élmény természetéről egy rádióinterjúban így számolt be Julian: „beleborzongtam a váratlan felismerésbe, hogy itt, az orrom előtt, az erdők és mezők ismerős világában ilyen különös és szépséges lények élnek, amelyek különlegessége és szépsége mindeddig fájdalmasan ismeretlen volt előttem” (idézi Clark, 1968, 145.). A már megszerzett, de a többség által meg nem élt tudás élményszerű közlésmódjára vonatkozóan Julian egy ritka irodalomkritikai írásában kapunk eligazítást. Erről így ír mestere, H. G. Wells egy új könyvének ismertetésében: mindaz, amit Wells az alkalmazott természettudományokról leír, „bizonyos értelemben közhely – a meglepetés erejével felruházott közhely” (Huxley, J., 1937, 67.). Az irodalom és a kultúra mindenkor divatjaiban Juliannál járatosabb Aldous ezt minden bizonnyal a tantrikus filozófiával vagy épp James Joyce epifánia fogalmával hozta volna összefüggésbe. A legközönségesebb tárgy is, ha megfelelően tekintünk rá, lényegét felfedve sugárzani kezd, és elnyeri epifániáját – tudjuk Joyce óta. „Láss, mintha most látnál először, egy szépséges személyt vagy egy köznapi dolgot” – biztat a hindu bölcséletet idéző Aldous Huxley (A. Huxley, 1961, 425). Valami ilyesmihez segíthet hozzá az irodalom kifejezőereje is – gyakorolja azt akár a szépíró Aldous, akár az ismeretterjesztő Julian.

Akárhonnan merített is hozzá ihletet és ötletet, a biológus Julian művészi-irodalmi munkásságának és ebből adódó, széleskörű ismertségének is betudható, hogy alakját nem csak a tudománytörténet annalesei őrzik. A számos ikonikus fénykép mellett legalább két

szépirodalmi mű is megörökíti az idősebbik Huxley-fivér alakját. Fotói közül a nagyapja térdén lovagló Julian vagy az amerikai nagykövet kisleit, Edward és John Kennedyt a londoni állatkertben kalauzolól felnőtt Huxley-t, esetleg az Aldous öccsével társalgó, korosodó bölcsét ábrázoló képek a legismertebbek. Ami a szépirodalmi megjelenítést illeti, két regényben is felbukkan Julian Huxley – mindkettőben mint a zoológia tudós kutatója, a londoni állatkert igazgatója. Sorrendben az elsőben csak közvetve, a főszereplő feltételezhető életrajzi modelljeként, a másodikban viszont csak mellékfiguraként, de már névvel, mintegy saját jogon. Az egyik Angus Wilson apokaliptikus sci-fi disztópiája, a *Vén emberek az állatkertben* (*The Old Men at the Zoo*, 1964), a másik pedig Szerb Antal regénye, a *Pendragon legenda* (1934). Számunkra az utóbbi az érdekesebb. A bűnügyi kísértethistória végén az ősi arisztokrata család feje, Owen Pendragon, Gwynedd earlje e szavakkal bocsátja útjára magyar vendégét, Bátky Jánost: „Kedves barátom, egy utolsó szívességre kérem. Menjen el újra Londonba, és keresse fel Julian Huxley professzort a King's College zoológiai intézetében. Mondja meg, hogy az intézetnek ajándékozom az óriás axolotlokat.” (Szerb, 2006, 148.)

Itt egy, a tudományos írásmódtól általában idegen, személyes vonatkozású közlés következik. Ami mentheti a diszciplináris protokoll illetén megsértését, az a személyes közlendő és a jelen írás tulajdonképpeni tárgya közötti szorosnak mondható tematikus kapcsolat. Míg az Angus Wilson-utalás saját, szerzői lelemény, a Szerb Antal-idézetre egy kedves ismerős hívta fel a figyelmemet. Olyasvalaki, aki jelentős tudományos eredményeit éppenséggel nem a humaniorák – mondjuk az irodalom- vagy a történettudomány –

területén érte el. Az ötletadó a jeles kutatóorvos, a Semmelweis Egyetem rector emeritusa, az UNESCO Magyar Nemzeti Bizottságának elnöke, Réthelyi Miklós professzor. Hogy egy, leginkább a kultúra és a szépirodalom világában jártas kutató a természettudományok kiváló művelőjétől kap fontos irodalomtörténeti információt, az ugyanazt példázza, mint ami mellett a Huxley-fivérek egybefonódó életműve is tanúskodik. „Nincs józan gondolkodású természettudós, aki egy pillanattal is azt képzelné, hogy a tudomány az egyetlen lehetséges nézőpont. A művészet és az irodalom, a vallás és a bölcsészet a világ felfedezésé-

nek más útjai” – foglalja össze Julian egy alkotó élet tanulságát az emberi tudás szinkretikus természetéről (idézi Clark, 1968, xv.). Aldous sarkosabban fogalmaz: „a nagy igazság ebben áll: irodalom, művészet és tudomány egy és ugyanaz” (idézi Clark, 1968, xv.). Ha felidézzük a dinasztiaalapító Thomas Henry Huxley szavait egyazon dolog két oldaláról, látni fogjuk: a kör bezárul. Nem érdemes kilépni belőle.

Kulcsszavak: *Huxley család, Thomas Arnold, Matthew Arnold, Gábor Dénes, tudománytörténet, UNESCO, kultúrtörténet*

IRODALOM

- Arnold, Matthew (1961): *Poetry and Criticism of Matthew Arnold*. Houghton Mifflin, Boston
- Clark, Ronald W. (1968): *The Huxleys*. Cox & Wyman, London
- Gabor, Dennis (1965): Professor Dennis Gabor, F.R.S. In: Julian Huxley (ed.): *Aldous Huxley 1894–1963: A Memorial Volume*. Chatto and Windus, London
- Huxley, Aldous (1927): *Proper Studies*. Chatto and Windus, London
- Huxley, Aldous (1929): *Do What You Will*. Chatto and Windus, London
- Huxley, Aldous (1952): *The Devils of Loudun*. Chatto and Windus, London
- Huxley, Aldous (1961): Human Potentialities. In: Julian Huxley (ed.): *The Humanist Frame*. Harper and Row, New York
- Huxley, Aldous (1963): *Literature and Science*. Harper and Row, New York

- Huxley, Aldous (2008): *Szép új világ*. (fordította Totth Benedek) Cartaphilus, Budapest
- Huxley, Julian (1937): *Essays in Popular Science*. Pelican, London
- Huxley, Julian (1946): *UNESCO, Its Purpose and Its Philosophy*. Preparatory Commission of UNESCO, London
- Huxley, Julian (1961): The Humanist Frame. In: Julian Huxley (ed.): *The Humanist Frame*. Harper and Row, New York
- Huxley, Julian (1965): Sir Julian Huxley, F.R.S. In: Julian Huxley (ed.): *Aldous Huxley 1894–1963: A Memorial Volume*. Chatto and Windus, London
- Huxley, Thomas Henry (2011): *Collected Essays*. Volume 3: *Culture and Education*. Cambridge University Press, Cambridge
- Szerb, Antal (2016): *A Pendragon legenda*: Magyar Elektronikus Könyvtárért Egyesület, Budapest, • <http://mek.oszk.hu/14800/14898/pdf/14898.pdf>

A 21. SZÁZAD TIPIKUS TUDÓSHŐSE: FENG ZHANG

Venetianer Pál

az MTA rendes tagja
venetpal@brc.hu

Az USA tudományos köreiben régóta terjed a következő vicc: „Kérdés: *mi jellemzi országunk elitegyetemeit?* Válasz: *hogy ott amerikai pénzből orosz tanárok oktatnak kínai diákokat.*” Nehéz volna megmondani, hogy e vélekedésnek mennyi a valós ténybeli alapja, de az a külföldi érdeklődő számára is nyilvánvaló, hogy az élenjáró tudományos műhelyekből származó legkiválóbb közlemények szerzői között szinte mindig van – a neve alapján – kínainak tekinthető személy. Ezek egyikéről szól ez a cikk. Ahhoz azonban, hogy választott hősiünk, Feng Zhang teljesítményét méltassuk, kell egy kis kerülőt tennünk.

Minden év októberének közeledtével (ekkor hozzák nyilvánosságra a Nobel-díjak személyét), de többnyire már korábban is, megtelnek a tudományos és tudománynpszerűsítő magazinok, sőt a tömegkommunikáció médiumai is a találgatásokkal, jóslásokkal arról, ki lesz majd a legjelentősebb tudományos díj nyertese. Ezek az augurok már két éve egyre gyakrabban emlegetnek az orvosi-biológiai (vagy esetleg a kémiai) díj esélyesei között két egymástól független, de szinte egyformán alapvetően fontos, már eddig is sikeresnek bizonyult és még több új lehetőséget megnyitó felfedezést. E sorok írójának is az a véleménye, hogy előbb-utóbb szinte biztosan mindkettő meg fogja kapni

ezt a legmagasabb elismerést. E két felfedezés rövid neve: optogenetika, illetve CRISPR-cas9 genommodosítás.

Noha e két új eredmény jelentősége vitathatatlan, az nyilván még nagy fejtörést fog okozni a Nobel-díj bizottság számára, hogy – figyelembe véve a szigorú szabályt, miszerint egy tudományterületen háromnál több személy között nem osztható meg a díj – ki legyen a (legfeljebb) három kiválasztott nyertes. Tekintettel arra, hogy még a legújszerűbb felfedezéseknek is vannak fontos történeti előzményei, hogy olykor nagy létszámú csapatok közös érdeme az eredmény, továbbá hogy a felfedezés sokszor teljesen párhuzamosan születik meg két vagy több műhelyben, ez a kiválasztás szinte mindig problematikus, és gyakran vezet későbbi vitákhoz, konfliktusokhoz. Ennek egyik következménye esetleg az lehet, hogy ha mindkét említett felfedezés meg is kapja a díjat, a díjazottak között nem lesz ott az az egyetlen személy, akinek mindkét eredmény megszületésében alapvetően fontos része volt: Feng Zhang.

Zhang Kínában született 1982-ben, és tizenegy éves volt, amikor édesanyjával az USA-ba emigráltak. Az iowai Des Moinesben járt középiskolába, ahol korán kitűnt tehetségével. Már tizenhét évesen, érettségi előtt elkezdte a tudományos kutatást a Massa-

chussetsi Műegyetemen (MIT) és a következő évben az INTEL által kiírt tudományos tehetségkutató versenyen harmadik díjat nyert. BSc. diplomáját kémia–fizika szakon a Harvardon kapta meg 2004-ben, majd a Stanfordon doktorált 2009-ben kémia–biomérnökség szakon. Itt szakmai vezetője az a Karl Deisseroth volt, akivel közösen jegyezték az optogenetika minden bizonnyal legfontosabb cikkét (Boyden et al., 2005). Ennek köszönhető a 2012-es Perl-UNC Neuroscience Prize, amelyet mesterével, Deisseroth-tal és szintén ifjú kollégájával, Edward Boydennel együtt nyert el. Elsősorban ennek az eredménynek tudható be, hogy 2014-ben megkapta a fiatal kutatók (35 év alatt) számára elérhető legmagasabb amerikai tudományos elismerést, a Nemzeti Tudományos Alap (NSF) díját is. Zhang 2011-ben önálló kutatócsoportot alapított az MIT-hoz tartozó Broad Institute-ban, és itt fordult érdeklődése a genomszerkesztésre alkalmas új módszer, a CRISPR-cas9 felé. Az ő laboratóriuma publikálta 2013-ban azt az alapvetően fontos közleményt, amelyben beszámolnak a módszer emlőssejtekben (azaz elvileg emberben is) való alkalmazhatóságáról (Cong et al., 2013). Erre a cikkre a következő három évben több mint huszonötezer hivatkoztak. Minthogy az ebben a munkában alkalmazott technológia alapjait Jennifer Doudna és Emmanuelle Charpentier 2012 nyarán megjelent közleménye fektette le (Jinek et al., 2012), ennek alapján kapták ők hárman együttesen (azaz Zhang, Doudna és Charpentier) 2014-ben a Jacob Heskel Gabbay-díjat. Az együttes elismerés azonban nem jelenti azt, hogy a három kitüntetett puszipajtássá vált. Közben ugyanis szabadalmi háború bontakozott ki a szerzők intézményei között, sokak szerint minden idők egyik legértékesebb találmánya körül (a kommentárok olykor

milliárd dolláros nagyságrendű téttről írnak). Zhang ugyanis (egyedül), illetve az őt foglalkoztató Broad Institute 2013-ban szabadalmi bejelentést tett a technológiára, jegyzőkönyvei bemutatásával igazolva, hogy az ő ötlete már 2011-ben megszületett. Ezt az igényt támadta meg a Doudnát foglalkoztató Kaliforniai Egyetem és a hozzá csatlakozó (akkor Charpentiert foglalkoztató) Bécsi Egyetem azzal, hogy az elsőbbség vitathatatlanul Doudnát és Charpentiert illeti meg, hiszen ők Zhangnál korábban, már 2012-ben publikálták a módszert. Ez a jogvita nyilván sokáig fog tartani és igen sok pénzbe fog kerülni a harcoló intézményeknek, sőt az is lehetséges, hogy befolyásolja majd a Nobel-díj bizottság esetleges döntését. Az azonban ettől független tény, hogy Zhang tovább dolgozott a módszeren, és 2015-ben publikált új eredményei úgy tűnik, kiküszöbölhetik a technológia legnagyobb hiányosságát, és ezzel megnyithatják az utat a majdani humán alkalmazás előtt (Zetsche et al., 2015).

Ezután a bevezetés után az olvasó feltehetően szeretné megismerni a két felfedezés lényegét és jelentőségét is. Lássuk tehát először az optogenetikát, amit 2010-ben a *Nature* az „Év módszerének”, a *Science* „Az évtized áttörésének” nevezett. Azt az agykutatói díjat (*Brain Prize*), amelyet első ízben 2011-ben magyar tudósok (Buzsáki György, Somogyi Péter és Freund Tamás) nyertek el, 2013-ban az optogenetika felfedezéséért ítélték oda hat kutatónak (Ernst Bamberg, Peter Hegemann, Gero Miesenböck, Georg Nagel, Edward Boyden és Karl Deisseroth). Deisseroth fiatal munkatársa, Zhang ebből a díjból kimaradt, valószínűleg igazságtalanul, feltehetően azért, mert már a hat díjazottat is sokallották, és Zhang csak doktoranduszként vett részt a munkában).

Az optogenetika történetét talán a legidősebb díjazottnál, Ernst Bamberg frankfurti biofizikus professzornál kell kezdeni. Ő ismer- te fel, hogy egy algából izolált fehérje (csa- tornarodopszin2) két érdekes tulajdonsággal rendelkezik, fényérzékeny és emellett ioncsa- torna, azaz fény hatására megváltozik az a képessége, hogy biológiai membránba építve elősegíti kationok átjutását a membránon (Nagel et al., 2003). Ebből a felismerésből kiindulva, korábbi munkatársa, Georg Nagel és mások beépítették a csatornarodopszin kódoló gént a *Caenorhabditis elegans* nevű kis féregbe, és így a féreg viselkedésében fény hatására jellegzetes változást tudtak előidézni (Nagel et al., 2005). Ezekkel az eredmények- kel többé-kevésbé párhuzamosan Gero Mie- senböck osztrák kutató New Yorkban (jelen- leg Oxfordban dolgozik) muslica (*Drosophi- la*) rodopszin génjét vitte be emlős szövetkul- túra sejtekbe, és ott hasonló jelenségeket tu- dott előidézni (Zemelman et al., 2003). A nagy áttörést azonban Deisseroth, Boyden és Zhang 2005-ben megjelent közleménye je- lentette (Boyden et al., 2005), amelyben arról számoltak be, hogy a csatornarodopszin génjét egér idegsejtekbe vitték be. Ezzel olyan kísérleti rendszert hoztak létre, amelyben egy magasabbrendű (emlős) állatban specifikus idegpályák működését, és ezáltal az állat vi- selkedését lehetett irányítottan befolyásolni minden invazív beavatkozás nélkül, pusztán fénysugárral. Azóta az optogenetika a neuro- biológiai kutatás egyik legfontosabb eszkö- vé vált, hazánkban például Acsády László ért el vele izgalmas alapkutatási eredményeket. Az is valószínűsíthető, hogy ez a technológia közelebb fog vinni a Parkinson-kór, az autiz- mus, a skizofréria, a depresszió vagy a szo- rongás mechanizmusainak megismeréséhez, és ezáltal jövőbeni gyógyítási lehetőségéhez is.

A CRISPR-cas9 módszer története még régebbre vezethető vissza. 1987-ben közzét- ték japán kutatók, hogy a molekuláris biológusok kedvenc baktériuma, az *Escherichia coli* DNS- ében van egy ismétlődő, sajátos szekvencia- elem, amelynek ismeretlen a szerepe (Ishino et al., 1987). Ez a cikk gyakorlatilag visszhang- talanul sülyedt el a jelentéktelen tudományos közlemények tengerében. Annak sem lett sokkal nagyobb hatása, amikor egy obskurus egyetem (a spanyolországi Alicantében) fiatal doktorandusza, Francisco Mojica egy obsku- rus baktériumban (*Haloflex mediterranei*) leírt egy ehhez hasonló szekvenciát, sőt meg is sejtette annak lehetséges funkcióját, és ő nevezte el CRISPR-nek (a betűszó a *clustered regularly interspersed palindromic repeats*, azaz halmozottan előforduló, szabályos közzökkel elválasztott palindromikus ismétlődések rö- vidítése) (Mojica et al., 1995). Az ezután kö- vetkező két fontos fejlemény alkalmazott kutatóhelyekhez fűződik. Gilles Vergnaud francia genetikus a hadügyminisztériumtól kapott megbízást patogén mikroorganizmu- sok kutatására azért, hogy a Szaddam Husz- szein feltételezett biológiai fegyverei elleni védekezést segítse. E munka során, elsősorban a pestist okozó *Yersinia pestis* különböző tör- zseinek vizsgálata során megtalálták ugyan- ezeket az elemeket, és megerősítve Mojica sejtését leírták, hogy „...a CRISPR-elemek korábbi genetikai agressziók emléknymoi lehetnek” (Pourcel et al., 2005). A sejtés bi- zonyítása a DuPont cég egyik dániai élelmi- szerbiológiai laboratóriumában (Danisco) történt meg, ahol azt vizsgálták, hogy hogyan lehet megvédeni a joghurt- és sajtkészítéshez használt tejsavbaktériumot (*Streptococcus ter- mophilus*) a gyakori fágfertőzéssel szemben. Ez a csoport (amelynek vezetője egy feltehe- tően magyar származású francia mikrobioló-

gus, Philippe Horvath volt) kimutatta, hogy ha egy fág-DNS-ből származó szekvenciaele- met mesterségesen beépítenek a baktérium CRISPR-elemébe, az ismétlődő szekvenciák közé, az védelmet nyújt a fág további táma- dása ellen (Barrangou et al., 2007). Ezzel megerősítették a korábbi feltételezést, amely szerint a természetes védelem úgy jött létre, hogy a fágfertőzőskor a fág-DNS bizonyos töredéke beépült a CRISPR-régióba, és jelen- léte biztosította az újabb fertőzéssel szembeni védelmet. Azaz a rendszer többé-kevésbé úgy működik, mint a magasabbrendű élőlények immunrendszere. Azt is megállapították, hogy ehhez az „immunválaszhoz” szükség van a baktérium egy cas9-nek elnevezett fehérjéjé- re. A rendszer biológiai funkciója tehát immár ismert volt, de működési mechanizmusa még nem. Ekkor azonban már az ügy az érdeklő- dés középpontjába került, és egymás után születtek meg (olykor párhuzamosan) a je- lentős új eredmények. A legfontosabb talán annak a felismerése volt (ez elsősorban Em- manuelle Charpentier érdeme), hogy a bak- tériumsejtekben jelentős mennyiségben képződik egy RNS-molekula, amelyet a CRISPR-régió melletti genomszakasz kódol, és amelynek egy huszonöt nukleotid hosszú- ságú szakasza komplementer szerkezetű a CRISPR-régió ismétlődő szekvenciájával (Deltcheva et al., 2011). A másik fontos felis- merés az volt, hogy a cas9 fehérje egy DNS- bontó enzim (endonukleáz). A sajátos bak- teriális immunrendszer működését tehát úgy kell elképzelnünk, hogy fágfertőzőskor a fág-DNS egy kis szakasza beépül a baktérium DNS CRISPR régiójának ismétlődő elemei közé. A CRISPR-régió melletti DNS-szakasz- ról kiindulva készül egy olyan RNS-másolat, amely tartalmazza a beépült fág-DNS-ről készült másolatot is. Ez az RNS több átalá-

kulási lépés után kapcsolódik egy cas9 elneve- zésű DNS-bontó enzimhez. Ez az enzim viszont csak akkor működik, ha a hozzá kapcsolódott RNS odavezette és kötötte egy kiegészítő (komplementer) szekvenciájú DNS-hez, ekkor azt képes elvágni. Minthogy a CRISPR-elemben ott volt a veszélyes fág- DNS egy szakasza, így az újra támadó fág DNS-ét lebontja a cas9 enzim. Ennek a mű- ködésmódnak a megismerése megnyitotta az utat a rendszer komponenseinek egy *in vitro* kísérleti rendszerben történő összehozá- sához és ezzel elvben más sejtekben történő működtetéséhez. Erről szólt Doudna és Charpentier *Science*-ben 2012 nyarán megje- lent cikke, amelyben a szerzők leírják, hogy „...a rendszer tulajdonságai kihasználhatók lehetnek RNS által programozott genomszer- kesztésre.” (Jinek et al., 2012). Ezért Doudna és Charpentier elnyerték a 2015-ös Break- through Prize-t és a l’Oreal-UNESCO 2016- os Nők a Tudományban díját.

Ha ugyanis olyan – mesterségesen szinte- tizált – RNS-molekulát használnak, amely képes a cas9 enzimmal komplexet képezni, és egyben tartalmaz egy olyan szekvenciát, amely a genom tetszőlegesen kiválasztott szakaszával komplementer (ennek neve *guide*, azaz veze- tő RNS), akkor a cas9 ezen a ponton el fogja vágni a sejt DNS-ét. Az már korábban ismert volt, hogy ilyen DNS-hasítást a sejt javító mechanizmusai képesek összefoltozni, és ennek manipulálásával mutációk hozhatók létre. Itt érdemes megjegyezni, hogy hasonló eredményt ért el Virginijus Siksnys litván kutató is, de az ő cikkét a *Cell* (lektorálás nél- kül) elutasította, és az csak ősszel jelent meg a *PNAS*-ben, az Amerikai Nemzeti Tudomá- nyos Akadémia folyóiratában. A programo- zott genomszerkesztő rendszer működését emlőssejtekben Zhangék demonstrálták

2013-ban (Cong et al. 2013). Azóta a módszer – tekintettel arra, hogy viszonylag olcsó és egyszerű – futótűzként terjedt el a világon, felhasználták már számos növény- és állatfaj célzott genetikai módosítására, és 2015-ben kínai kutatók emberi embriókon is kipróbálták (Liang et al., 2015). Jelenleg kereskedelmi forgalomban 65 dollárért vásárolhatók rendelkezésre készült vezető-RNS-ek, amelyek elvben az emberi genom bármely pontjának módosítására alkalmasak. A humán alkalmazás legfőbb korlátja az, hogy a nukleáz nem teljesen specifikus, azaz a genom megcélzott egyetlen pontja mellett, jóval kisebb gyakorisággal, máshol is előidézi mutációkat. Ez növényi vagy állati alkalmazásnál nem jelent különösebb gondot, de embernél megengedhetetlen. E problémára kínál megoldást Zhangék legfrissebb eredménye, egy új, cpfl nevű, a cas9-nél precízebben, specifikusabban működő endonukleáz felfedezése (Zetsche et al., 2015).

Ezt a cikket elsősorban Zhang érdemei méltatásának szenteltem, mert a tudománytörténetben példátlan eseménynek tartom, hogy egy fiatal (jelenleg 34 éves) experimentális kutatónak két teljesen különböző, de egyaránt világraszóló elméleti és gyakorlati jelentőségű felfedezés létrejöttében is döntő szerepe legyen. Befelezésül azonban érdemes kitérni arra is, hogy a CRISPR-cas9-sztoriról nemrégén Eric Lander közzétett egy hosszabb tanulmányt a *Cell* című folyóirat *Perspektívák* rovatában, amelynek végén néhány általános tanulságot

foglalt össze, ezeket talán érdemes a magyar olvasóval is megismertetni (Lander, 2016).

Az első egy közhely, amelyet minden alapkutatással foglalkozó kutató tud és vall (csak a tudományfinanszírozásért felelős politikusok nem). Ez úgy szól, hogy a legnagyobb gyakorlati jelentőségű felfedezések szinte soha nem úgy születnek, hogy a megvalósítandó célt keresik tudatosan a kutatók, többnyire egész más irányú, olykor gyakorlatilag teljesen érdektelen megfigyelésekből, eredményekből, csak az ismeretszerzésre irányuló kutatásokból indul el a fontos, gyakorlatban is hasznosítható felfedezéshez vezető út. A második tanulság a magyar kutatók számára egyáltalán nem evidens, de ha igaz, akkor jó hír. Ez pedig: a fontos felfedezéshez vezető úton nemcsak a leggazdagabb országok világhírű műhelyei, hanem kis országok és kis kutatóhelyek kutatói is tehetnek, és tettek is fontos, olykor döntő lépéseket (például az alicantei Mojica, az oszakai Ishino, Philippe Horvath a Danisconál, vagy a vilniusi Siksnys).

Végül a harmadik – igen szomorú – tanulság, hogy milyen sok fontos kéziratot utasítottak el a legnagyobb presztízsű folyóiratok (*Nature*, *Science*, *Cell*) – többnyire azonnal, bírálónak ki sem küldve azokat –, ezzel súlyosan torzítva a szabadalmi és karrierszempontból döntő jelentőségű prioritási viszonyokat.

Kulcsszavak: *optogenetika*, *CRISPR-cas9*, *Nobel-díj*, *csatornarodopszin*, *guide-RNS*, *genomszerkesztés*, *endonukleáz*

IRODALOM

Barrangou, Rodolphe et al. (2007): CRISPR Provides Acquired Resistance Against Viruses in Prokaryotes. *Science*. 315, 1709–1712. DOI: 10.1126/science.1138140 • http://isites.harvard.edu/fs/docs/icb.topic802911.files/Oct%208%20-%20Kelli/Barrangou_07_CRISPR.pdf

Boyden, Edward S. et al. (2005): Millisecond-timescale Genetically Targeted Optical Control of Neural Activity. *Nature Neuroscience*. 8, 1263–1268. DOI: 10.1038/nn1525

Cong, Le et al. (2013): Multiplex Genome Engineering Using CRISPR/Cas Systems. *Science*. 339, 819–823.

DOI: 10.1126/science.1231143 • http://zlab.mit.edu/assets/reprints/Cong_L_Science_2013.pdf

Deltcheva, Elitza et al. (2011): CRISPR RNA Maturation by *Trans*-encoded Small RNA and Host Factor RNase III. *Nature*. 471, 602–607. DOI: 10.1038/nature09886

Ishino, Yoshizumi et al. (1987): Nucleotide Sequence of the *lap* Gene, Responsible for Alkaline Phosphatase Isozyme Conversion in *Escherichia coli*, and Identification of the Gene Product. *Journal of Bacteriology*. 169, 5429–5433. • <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC213968/pdf/jbacter00202-0107.pdf>

Jinek, Martin et al. (2012): A Programmable Dual-RNA-guided DNA Endonuclease in Adaptive Bacterial Immunity. *Science*. 337, 816–821. DOI: 10.1126/science.1225829 • <http://genetics.wustl.edu/bios491/files/2013/03/Jinek-et.-al.-2012.pdf>

Lander, Eric S. (2016): The Heroes of CRISPR. *Cell*. 164, 18–28. DOI: 10.1016/j.cell.2015.12.041 • [http://www.cell.com/cell/pdf/S0092-8674\(15\)01705-5.pdf](http://www.cell.com/cell/pdf/S0092-8674(15)01705-5.pdf)

Liang, Piping et al. (2015): CRISPR/Cas9-mediated Gene Editing in Human Triploid Zygotes. *Protein & Cell*. 6, 363–372. DOI: 10.1007/s13238-015-0153-5 • <http://link.springer.com/article/10.1007%2F13238-015-0153-5>

Mojica, F. J. M. et al. (1995): Long Stretches of Short Tandem Repeats Are Present in the Largest Replicons of the Archaea *Halobacterium mediterranei* and *Halobacterium volcanii* and Could Be Involved in Replicon Partitioning. *Molecular Microbiology*. 36, 244–248. DOI: 10.1111/j.1365-2958.1995.mm1_17010085.x • <http://www.academia.edu/17194571/>

Long stretches of short tandem repeats are present in the largest replicons of the Archaea *Halobacterium mediterranei* and *Halobacterium volcanii* and could be involved in replicon partitioning

Nagel, Georg et al. (2003): Channelrhodopsin-2, a Directly Light-gated Cation-selective Membrane Channel. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 100, 13940–13945. DOI: 10.1073/pnas.193619210 • <http://www.pnas.org/content/100/24/13940.full.pdf>

Nagel, Georg et al. (2005): Light Activation of Channelrhodopsin-2 in Excitable Cells of *Caenorhabditis elegans* Triggers Rapid Behavioral Responses. *Current Biology*. 15, 2279–2284.

Pourcel, Christine – Savignol, G. – Vergnaud, G. (2005): CRISPR Elements in *Yersinia pestis* Acquire New Repeats by Preferential Uptake of Bacteriophage DNA, and Provide Additional Tools for Evolutionary Studies. *Microbiology*. 151, 658–663. DOI: 10.1099/mic.0.27437-0 • <http://www.microbiologyresearch.org/docserver/fulltext/micro/151/3/653.pdf?expires=1459508825&id=id&accname=guest&checksum=D4EF246EB2DB3A68143970CAF9381434>

Zemelman, Boris V. et al. (2003): Photochemical Gating of Heterologous Ion Channels: Remote Control over Genetically Designated Populations of Neurons. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 100, 1352–1357. DOI: 10.1073/pnas.242738899 • <http://www.pnas.org/content/100/3/1352.long>

Zetsche, Bernd et al. (2015): Cpf1 is a Single RNA-guided Endonuclease of a Class2 CRISPR-Cas System. *Cell*. 163, 759–771. DOI: 10.1016/j.cell.2015.09.038 • [http://www.cell.com/cell/pdf/S0092-8674\(15\)01200-3.pdf](http://www.cell.com/cell/pdf/S0092-8674(15)01200-3.pdf)



A MAGYAR MEDICINA A KÉT VILÁGHÁBORÚ KÖZÖTT

Kapronczay Károly

az MTA doktora, egyetemi tanár,
az Orvostörténeti Munkabizottság elnöke
k.kapronczay@freestart.hu

A trianoni békeszerződés után az egyharmadára kisebbedett területen a magyar állam egészségügye is nehéz helyzetbe került. Az ország lakossága kilencmillióra csökkent. Az egymillió fővárost is beleszámítva a Duna-Tisza-közén a népesség 60%-a, a Dunántúlon 25%-a, a többi 15% pedig az északi területeken élt. A lakosság számaránya egyéb szempontok alapján is változó volt: igazi várossiasodást a főváros mutatott, a lakosok 60%-a vidéken élt, tanyán mintegy 20% telepedett le. Bár a legjelentősebb ipari központok többségét elvesztette az ország, de így is fejlett agrárállamnak minősült. A Trianon előtti Magyarország azon központi részén, amely a mai állam területének felel meg, 7,9 millió ember élt. Ez a lélekszám 1918 után 1,1 millióval növekedett, az elcsatolt területekről áttelepedett magyarokkal. Bizonyos vonatkozásokban kétségtelen nehézségeket idézett elő ez a hirtelen népességsűrűsödés. Az áttelepültek 90%-a a főváros környékén, ideiglenes táborokban élt, foglalkozásukra nézve zömmel tisztviselők, állami alkalmazottak, akik a magyar államtól várták a segítséget. Az ország anyagi problémái ellenére is igyekezett gondoskodni róluk, elsősorban lakóházak építésével, bár a nagy gazdasági válság éveit az építkezések elhúzódtak.

Az egészségügy is válságos helyzetben volt, hiszen legértékesebb „vagyonából”, a mintegy 140 ezer kórházi ágyból közel százezret elvesztett, mindössze 38 ezer gyógyintézeti férőhely maradt. Különös megterhelést jelentett a frontokról hazatérő rokkant katonák tömege, majdnem 750 ezerre tehető a hosszas, illetve élete végéig gondozást igénylő sérült, és a magyar betegellátó rendszer még nem rendelkezett ilyen speciális területtel. Munkába állításukat tartós betegségük akadályozta. Az egészségügyi szakszemélyzetből – orvos, ápoló, beteggondozó – nem volt hiány, sőt bizonyos „többletlétszám” is mutatkozott, hiszen az elcsatolt területekről is szép számban menekültek hozzánk. Mindennaposá vált az „állástalan orvos”, aki szűkös magánpraxisból, kisegítő munkákból próbál megélni. A trianoni békeszerződés után a hadsereg egészségügyi szolgálatából – tekintettel a kis létszámban megállapított hadseregére – több száz orvost leszereltek, akiket részben az üres hivatásos orvosi pozíciókba irányítottak. Az 1920-as években szembeütközött a magyar orvosok külföldre – elsősorban az amerikai kontinensre – való távozása. A háborúban nagy tapasztalatot szerzett betegápolói kar könnyen talált betegágy melletti munkát a közkórházakban és a magánintézetekben.

Hazánk szociális ellátottsága kritikus volt, hiszen a közel ötmillió vidéki lakosság túlnyomó többségének nem volt egészségügyi biztosítása, kb. másfél millió agrárproletár (béres, cseléd, falusi szegény) méltatlan körülmények között élt. Nemzetközi felmérés szerint a gyermekek körében nagymértékű volt a tuberkulózis, a gyermekhalandóság, a falvakban nem létezett az egészségügyi kultúra, felvilágosítás. A falusi ember orvost legfeljebb a jószághoz, nem a beteg családtaghoz hívott. Önkéntes betegbiztosítással legfeljebb a módos nagygazdák rendelkeztek. Az 1920-as évek elején nem véletlenül kapcsolták össze a Népjóléti Minisztérium keretén belül az egészségügyet a szociális- és munkaügyi kérdésekkel. A távlati tervek között szerepelt a betegbiztosítás kiterjesztése, a „beteg falu” megszüntetése. Erre a nehézségekkel küzdő állam csak korlátozott összegeket tudott biztosítani a költségvetésből.

Az orvosképzést tekintve jelentős változás történt: Magyarországra menekítették a kolozsvári (1872) és pozsonyi (1917) egyetemeket. A kolozsvári egyetem orvosi kara Szegedre, a pozsonyi Erzsébet királyné Tudományegyetem végül Pécsre; a harmadik vidéki egyetem orvosi kara Debrecenben (1916) működött. A budapesti mellett a vidéki karok nem számítottak „másodrendűnek”. A kormány már az 1920-as évek elején nagyszabású tervet készített a debreceni, a szegedi és a pécsi orvosi karok új épületeinek, klinikáinak felépítésére. Ezzel egyidejűleg az ország újabb kórházépítési programot dolgozott ki, amelyben új, korszerű intézményeket épített, mellettük a polgári betegellátás céljaira átépítették az első világháború előtt működött közös hadsereg intézményeit.

A gazdasági nehézségek ellenére megnyugtató volt, hogy a közigazgatás és ezen belül az

egészségügyi igazgatási rendszer változatlan maradt, nem kellett új megoldásokat keresni. Az új egészségügy stratégiai kidolgozásában szerepet játszó fiatal szakembereket tanulmányutakra küldték az Egyesült Államokba és Angliába. A közegészségügy elméleti és gyakorlati irányítását az 1926-ban felállított Országos Közegészségügyi Intézetre ruházták, amelynek megszervezésében döntő szerepet játszott Johann Béla, a két világháború közötti időszak jeles egészségügyi szervezője. Hasonló elvek alapján készítették elő az 1928-ban elfogadott ún. biztosítási törvényt is, amely állami szinten rendezte a beteg- és balesetbiztosítás minden területét, pontosan meghatározta a kötelező járulékfizetésért nyújtott szolgáltatásokat. Ezekben az években jelentősen fejlődött a magán- és közalkalmazotti biztosítási rendszer, az Országos Társadalombiztosítási Intézet mellett számos egyéb biztosító (MABI, OTBA, MÁV, Postás stb.) is a betegellátás szolgálatába állt. A magánbiztosítók is szerveztek kórházi és járóbeteg-ellátást, a legkorszerűbb kórházak rendszerét építették ki. A fejlesztésben lényeges szempont volt a gyógyfürdők, a balneológia lehetőségeinek kihasználása.

Nagy előrelépés történt az anya- és csecsemővédelem területén. A szervezett anya- és csecsemővédelem jogi alapjait az 1876. évi XIV. tc., 4. 19. 20. 21. §, anyagi támogatását 1898-tól az Országos Betegellátási Alap biztosította. Az 1901. évi VIII. tc. a közsegélyeket és a hét–tizenhat éves gyermekek ingyenes orvosi ellátását kodifikálta. Középpontba került a gyermekjárványok elleni védekezés, a védőoltások kiterjesztése. Az anyavédelmet és a csecsemőgondozást a bábák intézkedési körébe utalták, szorgalmazták a felvilágosító tevékenységet. Társadalmi összefogás szerveződött az elhagyott és szegény gyermekbete-

gek felkarolására. Ezek a mozgalmak többnyire orvosi kezdeményezésre születtek, szorgalmazták az állami segítséget, a törvényi rendszert, az intézményi hálózat kiépítését stb. Ilyen mozgalomból született az Országos Stefánia Szövetség (1915), amely kezdetben fővárosi szinten, majd országosan fejtette ki tevékenységét. A Stefánia Szövetség a felvilágosításon túl a szegény sorsú anyák és csecsemők aktív gondozását, anyagi segítését is feladatának tekintette. Nem csupán önkénteseket foglalkoztattak, 1922-től már – a nővérképzésen belül létrehozott, két kiegészítő tanév folyamán kiképzett – hivatásos védőnők hálózatát is kiépítették. A védőnő feladata lett az anya terheességének kezdetétől a megszületett gyermek hároméves koráig történő gondozása. A gondozás, az egészségnevelés mellett a Stefánia Szövetség anyagi természetű segítséget is nyújtott: a helyi önkormányzat segítségével megszervezték a „vándorkelengye” mozgalmat, a legszegényebbek számára a szociális szülési segélyt. Talán a legfontosabb eredmény a szülőházak (szülőotthonok) rendszerének létrehozása lett, hogy a várandós anyák ne otthon, hanem megfelelő kórházi körülmények között, orvosi segítséggel hozzák világra gyermeküket, elkerülve az esetleges szülési komplikációkat, amelyek más okok mellett a magas csecsemőkori halálozás okozói voltak.

A védőnőképzéssel függött össze az ápolónőképzés teljes reformja. Ennek átformálására már 1913-ban született javaslat, amely a háborús követelmények miatt nem valósult meg. 1920-ban felfüggesztették az addigi formákat (a vöröskeresztes nővértanfolyamokat), és 1922-ben a négy orvosi kar mellett megszervezték az egyetemek felügyeletével működő Ápoló- és Védőnőképző Iskolákat. A hallgatók a négy polgári iskolai osztály elvégzése után hároméves, érettségi bizonyít-

vány birtokában kétéves ápolónőképzésben vettek részt, ahol orvoselőadókkal, egységes tankönyvekből folyt az általános képzés. Az általános oklevél megszerzése után nyílt lehetőség a speciális továbbképzésre, például a baba-, gyermekápoló-, illetve védőnőképzésre. A Magyar Vöröskereszt és a Magyar Betegápolók és Ápolónők Egyesülete (MBÁE) továbbra is részt vett a képzésben: a Vöröskereszt inkább a szociális nővéreket, a MBÁE az idősebb, képesítés nélküli ápolók munka melletti oktatását vállalta magára. A Népjóléti Minisztérium az általános közigazgatás helyi szervezeteinél kötelezően alkalmazta a szociális munkatársakat, akik részt vettek az állami segélyek szétosztásában, a rászorultság megállapításában, a veszélyeztetett családi körülmények felderítésében stb.

1926-ban az újonnan felállított Országos Közegészségügyi Intézet (OKI) felügyelete alá helyezték az Ápoló- és Védőnőképző Iskolákat, az önkéntes társadalmi szervezetek (Vöröskereszt, MBÁE, egyházi képzők) keretében folyó ápoló- és védőnőképzést is. Az intézet felhatalmazást kapott az újabb szakképzések (gyermekápolók, műtősnők, vérado-asszisztensek stb.) megszervezésére, tanterveik elkészítésére. E feladatokat az OKI a saját kebelén belül felállított Országos Betegápolónői Intézeten keresztül látta el. A reform következtében a kórházakban működő ápolói szakszemélyzet képzettségi aránya elérte a 60%-ot, a képesítés nélküliek részére gyorsított tanfolyamok indítását kérték a MBÁÉ-tól. Így az ápolónőképzés lépést tudott tartani a kórházi ágyak számának emelkedésével.

A szociális tevékenységet sokban segítette az 1931-től fokozatosan kiépített ún. Egri-norma rendszere, amely az állami és alapítványi segélyeket volt hivatott új elvek alapján elosztani és rendezni. Az addigi szabályok

szerint a helyhatóságok a szegénységi bizonyítvány alapján osztották szét a segélyeket, adtak ki koldulási engedélyt, helyezték el a rászorulókat szegényházakban, menhelyeken. Az új rendszer ugyan nem vetette el a korábbi gyakorlatot, de lényeges módosítás volt a segélyek életkorhoz és időtartamhoz való igazítása, az egészségi állapot és a munkanélküliség felmérése. A helyhatóságok feladata lett a munkahelyteremtés, míg a szociális gondozóknak a rászorulókat életkor, iskolai végzettség, családi és egészségi állapot szerint kellett felkutatniuk. E felmérések alapján szakmai tanfolyamokat szerveztek, átmeneti segélyekkel támogatták a képzés résztvevőit, gondoskodtak elhelyezkedésükről, a tényleges munkaképtelenek részére állandó járadékot folyósítottak. Különös figyelmet kellett szentelni a fiataloknak, a családosoknak, a munkaképes életkorúaknak. A családosok részére az Országos Nagycsaládosok Egyesülete (ONCSA) lakásépítési akciókat szervezett, olyan helyekre költöztette a rászorulókat, ahol megélhetésük is biztosított volt.

A két világháború között végrehajtott közigazgatási reform szerint a közegészségügyi tisztviselői kartól nemcsak közigazgatási jártasságot biztosító képzést kértek, de az apparátusban működő egyes feladatokhoz a szociális gondozói, közigazgatási, ápoló–védőnői végzettséget is. Pontosan meghatározták a feladatköröket, a szakapparátust – az általános fegyelmi kérdéseket kivéve – szakmai felügyelő és ellenőrző bizottságok alá rendelték. Jelentősen növelték a helyi szakapparátus feladatkörét, fontosságát és felelősségét. Például a járási egészségügyi osztályok önállósága megnövekedett a megyei hasonló osztályokkal szemben, amit a fokozott szakmai ellenőrzés is erősített. Nagymértékben szorgalmazták a községi orvosi rendelőket, szülőotthonokat,

szakorvosi rendelések megszervezését, a közegészségi programok országos és helyi végrehajtását.

A fentiek különösen fontossá váltak a vidék egészségügyének fejlesztésében: ekkor indították el az ún. artézi kút programmal minden községben és településen a minőségileg ellenőrzött ivóvízellátás biztosítását, zajlott a falvaktól távol eső tanyákon a kutak ellenőrzése, az ivóvíz laboratóriumi ellenőrzése, hiszen a nem megfelelő ivóvíz következtében gyakoriak voltak az entériás jellegű, fertőzőjárványos megbetegedések. Az állam a városokban, nagyobb községekben a csatornázást, a szennyvízelvezetést anyagilag támogatta, ami fontos előrelépést jelentett. A program eredményességét bizonyítja, hogy jelentősen csökkent a járványos betegségekben elhunytak száma. 1920-ban 41 ezer, 1925-ben 25 ezer, 1930-ban 24 ezer, 1932-ben 20 ezer fő hunyt el valamilyen járványos betegségben. Jelentősen visszaesett a tifuszban meghaltak száma, a vízminőség javításával összefüggésben csökkent a vérhas (dizentéria), szalmonella, a fertőző májgyulladás eseteinek száma. A városokban csökkent, de vidéken még jelentékenynek volt mondható a diftéria, elterjedt nevén torokgyík (1937-ben vezették be a kötelező védőoltást), a vörheny, a kanyaró, a szamárköhögés, illetve ezek szövődményei.

A legerősebb – városokban és vidéken egyaránt – népbetegségnek a gümőkór, a tuberkulózis számított, az egészségügyi statisztika szerint is a legnagyobb halandósága ennek a betegségnek volt. A tuberkulózis kórokozóját Robert Koch 1882-ben fedezte fel, a szervezett védekezés hazánkban az 1890-es években indult meg. 1896-ban Korányi Frigyes kezdeményezte a betegség elleni védekezés szakmai és társadalmi összefogással való megszervezését. 1901-ben felépült a fővároshoz

közele Budakeszin az Erzsébet királyné Szanatórium hatszáz ágygal. 1906-ban ingyenes „köpetvizsgálatot” rendeltek el, 1906-tól államilag támogatták a tüdőbeteg-gondozók felépítését, ugyancsak ekkor rendelte el a Belügyminisztérium a TBC-s betegek országos szintű nyilvántartását, lakásaik fertőtlenítését. Az 1908. évi közegészségügyi törvény módosítása a védekezés legfontosabb szervévé a Tuberkulózis Elleni Küzdelem Országos Központját tette, amelynek feladata a megelőzés és gyógykezelés programjának kidolgozása és végrehajtása lett. A tuberkulózis megfékezésére irányuló munkálatok végrehajtása az I. világháború alatt megtorpant, sőt a helyzet romlott. A háború évei alatt elsősorban a hadseregben dúlt a betegség, ezért több katonai kórházat és szanatóriumot kellett szervezni.

A trianoni békeszerződés megkötése után a TBC elleni küzdelem szervezője a Népjelölési Minisztérium lett, de a rossz gazdasági helyzet miatt csak korlátozott mértékben tudtak cselekedni. Ennek ellenére 1924-ben huszonnégy vidéki tüdőgondozó nyílt, egyúttal a háború idején katonai célokra elvett tüdőszanatóriumokat és kórházi osztályokat visszaadták a polgári tüdőbeteg-gondozás céljaira, sőt üresen álló volt katonakórházakat is átengedtek hasonló okokból. 1926-tól erőteljes felvilágosító propagandát indítottak, felállították a Népegészségügyi Múzeumot, amely vándorkiállításokkal és előadásokkal hívta fel a figyelmet a veszélyekre és a megelőzés módjára. Ez a mozgalom bizonyította, hogy a tuberkulózis szoros kapcsolatban van a szociális és higiénés viszonyokkal. A vidéki lakosság megbiztosítási rendszerének kiszélesítését olyan értelemben is szorgalmazták, hogy meg kell növelni a TBC-s betegségek számát. Ekkor rendelték el a kötelező röntgenes szűrővizsgálatot, ingyenessé tették a bete-

gek kezelését. A tüdőgondozók száma – eltekintve a szakrendelőktől – 1932-ben hetvenháromra emelkedett, amit elsődlegesen a vidék vonatkozásában kívántak tovább fejleszteni, hiszen ott volt a legaggasztóbb a betegség statisztikája. 1940-re már 141-re szaporodott a számuk, ami azonban a népességhez arányítva csak 50%-os sikernek számított. Az eredmények ellenére a gümőkór továbbra is vezető helyen volt az országos halálozási statisztikában. 1941-ben kétszázezer tuberkulózisos tartottak nyilvántartásban. A statisztikailag érzékelhető javulás a háborús évek alatt nem csupán megtorpant, de a TBC-s mortalitás ismét emelkedő tendenciát mutatott: 1939-ben 13,2 %, 1940-ben 13,5 %, 1941-ben 13,8 %, 1945-ben pedig már 15,5 % volt.

A két világháború között a magyar orvostudomány különösen értékes korszakát élte. A négy orvosi karon igen magas színvonalú képzés folyt, a hazai orvostudomány európai, sőt világhírű elismerést vívott ki. Ezek közé tartozott többek között Bókay János gyermekgyógyászati kutatásaival, a magas színvonalú sebészeti, nőgyógyászati iskolák, de említhetnénk Grósz Emil és ifj. Imre József szemésztit vagy ifj. Lenhossék Mihály élettani tevékenységét, a legismertebbeket kiemelve. Az egyik legnagyobb nemzetközi siker Szent-Györgyi Albert 1937-ben odaítélt Nobel-díja volt. A vitaminkutatással foglalkozó szegedi biokémikus professzor nemcsak a magyar medicina színvonalát, de a nem fővárosi orvosi karok nívóját is bizonyította.

Az orvoslás szakmai minőségének jellemzője az egyre inkább differenciálódó gyógyító munkában a szakorvosi képzés arányának növekedése is. Ebben az időben – teljes mértékig elfogadottan – mind több orvosnő működött. A szakosodás szerint alakultak az orvosi társasági élet szervezetei, az 1930-as

években harminchárom orvosi társaság tevékenykedett az országban. A két világháború közötti időben egyre nagyobb hangsúlyt kapott a különféle orvosi szakterületek társaságai közötti kapcsolattartás, a tapasztalatcsere, a kongresszus jellegű találkozások megszervezése. Ebből az igényből született meg például a Tihanyi Orvos Napok megrendezésének gondolata, amelyet 1934-től – nemzetközi részvétellel – évente összehívtak.

A magyar orvostársadalom öntevékenyen szervezte meg az érdekvédelmét, amely az orvosok és az állam viszonyát az egyenjogúság alapján kívánta rendezni. Az 1876. évi XIV. sz. ún. közegészségügyi törvény csak az állam alkalmazásában lévő orvosoknak nyújtott nyugdíjat, a többiek csak bankoknál köthetett – hatalmas összegű törlesztéssel – nyugdíjbiztosítást. Az orvosok másik sérelme a közigazgatásnak való kiszolgáltatás lett: az állam szolgálatában dolgozó orvost – még orvosi kérdésekben is – laikus felettesek felügyelték. Az orvostársadalom arra törekedett, hogy felettük – szakmai és etikai kérdésekben – orvosokból álló felügyelő bizottság döntsön, amit az államigazgatás tudomásul vehet. A 19–20. század fordulóján megalakult Orvosszövetség az előbbi kérdést nem tudta megoldani, csak az orvosok országos nyilvántartását valósította meg. (Csak a nyilvántartásba „felvett” orvosok végezhetek nyilvános orvosi tevékenységet.) Az 1920-as években folytatott érdekvédelmi tárgyalások után született meg az ún. kamarai törvény 1936-ban, amelynek értelmében megszervezték a Magyar Orvosi Kamarát, amely részben átvette az Országos Orvosszövetség felhatalmazásait, másrészt felállította a régóta kívánt etikai és szakmai bizottságokat. Az orvosok számára kötelező volt a belépés, csak így lehetett orvosi gyakorlatot folytatni.

A tiszta érdekvédelmi elvek az 1930-as évek végén csorbultak, hiszen a Kamara megalakulása pillanatában még politikamentes volt, de a következő tisztújítás (1940) idején a politikai jellegű jobboldali szervezetek (Magyar Orvosok Védegylete – MOVE, Magyar Orvosok Nemzeti Egyesülete – MONE) jelentős teret nyert a kamarai vezetésben. Ezután jelölték meg a kamarai névjegyzékekben a zsidó és zsidó származású tagokat, ami 1943-ig még nem jelentett hátrányt a tagsági jogokban. 1943-tól – az ún. fajvédelmi törvény bevezetése után – kizárták a zsidó orvosokat, visszavonták az orvosi gyakorlat engedélyeket. A vallási megkülönböztetés már az ún. első zsidótörvény (1921) bevezetésével kezdetét vette, hiszen előbb az egyetemi hallgatók és a tanárok „vallási arányát” szabályozták, a második zsidótörvény (1938) után már az állami alkalmazásban levő zsidó orvosokat távolították el. Igaz, ekkor még figyelembe vették az adott helyen-területen levő orvoshiányt, illetve Magyarország hadba lépése (1941) után a katonai szolgálatra behívott keresztény orvosokat zsidó vallású, munkaszolgálatra behívott kollegáikkal helyettesítették. 1943 után ezt a gyakorlatot megszüntették, a zsidó orvosokat csak kisegítő munkaszolgálatos katonaként vezényelték a frontokra, és 1944 őszén megsemmisítő táborokba szállították őket. Ezek ellen nem emelt szót az Orvosi Kamara, ezért 1945-ben feloszlatták.

Külön kell szólni a magyar katona-egészségügy alakulásáról: a trianoni békeszerződés meghatározta Magyarország hadseregének létszámát (35 ezer fő) és fegyvernemeit, ami nagyarányú leszerelést és egyes fegyvernemek felszámolását jelentette. A katona-egészségügyet – bizonyos katonai felügyelet mellett a Népjelölési Minisztérium hatáskörébe utalták, 1932-ben újból a Honvédelmi Minisztérium-

hoz került vissza. A honvédegesztésügy kórházainak és intézményeinek számát a tényleges állományhoz igazították, az orvoslétszám 450 körül stabilizálódott. A beteggondozásba beletartozott a nagyszámú rokkant, az ellátást speciális és rehabilitáló részlegek segítették. A második világháború kirobbanásának veszélye miatt a magyar kormány is hadseregfejlesztő politikába kezdett. 1938-ban a magyar hadsereg létszáma 85 ezer fő lett, 1938-tól felgyorsult a katonaegetésügy felserelése, kiképzése. 1939. február 3-án a felsőház, február 4-én az országgyűlés is megtárgyalta a katonaegetésügy kiszélesítését, a kiegészítő szervezetek – köztük a Magyar Vöröskereszt – felélénkítését, anyagi megerősítését. Előkészületek történtek mozgó tábori kórházak szervezésére, raktárkészleteik feltöltésére. 1941-ben felszereltek tizenhárom katonai kórházvonalat, amelyek egyenként huszonkét vagongból álltak, 240 fekvő és 60 ülőbeteg tudtak szállítani. Felállították a JU–52-es repülőgépekből álló (60 db) kimentő szolgálatot, amely a voronyezsi áttörés után kapott különös jelentőséget, majd a háború alatt háromszorosára emelték a gépek számát. A háború első két évében tizenhat vidéki hadikórházat állítottak fel százezer betegággal, biztosítottak 19 590 ápolónőt. A Magyar Vöröskereszt 6500 mozgósítható betegágyat és

kétezer utókezelő férőhelyet működtetett. Jelentős szerepet kapott a vöröskeresztes légoltalmi egetésügy, amely közel százezer betegággal rendelkezett az ország területén.

A második világháború öt éve alatt természetesen bővült és formálódott a magyar katonaegetésügy szerkezete, intézményeinek száma és összetétele. 1941 nyarától 60 magyar hadikórház működött (összesen százezer betegággal) a határokon kívül, de 1943 végén újabb hatvannyolc hadikórházat kellett felszerelni, ami közel húsz ezer betegágyat jelentett. A légoltalomnál szervezett légókórházak szerepe Magyarország intenzív bombázásának idején növekedett meg. Sajnos a hátráló német hadsereggel együtt hetvenöt magyar hadikórház, harmincegy tábori kórház és jelentős kórházi felszerelés került ki Ausztria és Németország területére, ahol szétszóródtak, de a működőképes részekből felállt a Magyar Vöröskereszt betegellátó és gondozó egysége, mintegy ötezer betegággal, amelyek ausztriai s németországi városokban működtek. Hazaszállításukat 1945 nyarán szervezték meg.

Kulcsszavak: *orvosképzés helyei, „orvosfelesleg”, közegestésügy állapota, kórházépítési program, a vidék egetésügye, járványügyi helyzet, betegbiztosítás jogi rendezése, a világháború katonaegetésügye, háborús veszteségek.*

IRODALOM

- Bezerédyne Hertelendy Magdolna – Hencz A. – Zalányi S. (1967): Évszázados küzdelem hazánk egetésügyéért. Közgazdasági és Jogi Kiadó, Budapest
- Johan Béla (1942): Az egetésügy közgazgatás modern feladatai. In: Mártonffy Károly (szerk.): *A mai magyar egetésügy közszolgálat. A 7. Közgazgatási Továbbképző Tanfolyam előadásai. (A korszerű közszolgálat útja 13).* Állami, Budapest, 223 – 245.
- Kapronczay Károly (2001): *Fejezetek 125 év magyar egetésügyének történetéből.* Semmelweis Orvostörténeti Múzeum, Könyvtár és Levéltár, Budapest

- vábbképző Tanfolyam előadásai. (A korszerű közszolgálat útja 13).* Állami, Budapest., 245–457.
- Sághy Ferenc (1934): A társadalmi helyzet befolyása a járványos betegségekre. *Szociális orvostudomány.* 12, 379–399.
- Schütz Otto (1942): A tuberkulózis megelőzése és a közgazgatás. In: Mártonffy Károly (szerk.): *A mai*

- magyar egetésügy közszolgálat. A 7. Közgazgatási Továbbképző Tanfolyam előadásai. (A korszerű közszolgálat útja 13).* Állami, Budapest, 623–639.
- Szénágy József (1930): *Az egetésügy segédszemélyzet kérdéseiről. (Országos Stefánia-Szövetség az Anyák és Csecsemők Védelmére kiadványai 59.)* Országos Stefánia Szövetség, Budapest



A jövő tudósai

Tisztelt Olvasó!

Előző cikkünkben hátrányos helyzetű középiskolás gyermekek integrálásával foglalkoztunk. A VIII. kerület több egyetem otthona, de egyben olyan fővárosi kerület is, ahol kiemelkedően magas a nehéz sorsú gyermekek számaránya. Hiszem, hogy egy egyetem a pusztá jelenlétével is példa a gyermekek számára, melyet az ilyen alulról formálódó, fiatalokból álló közösségek, mint az itt működő TE+ÉN református közösség tovább erősít-

het. A közösség a kerület nehézsorsú gyermekeinek formális és informális tanítását speciális módszerekkel végzi.

Kérjük, ha a nők tudományban betöltött helyzetével vagy az ifjú kutatókkal kapcsolatos témában bármilyen vitázó megjegyzése, javaslata lenne, keresse meg a melléklet szerkesztőjét az alábbi e-mail címen.

Kiss Rita

az MTA doktora, BME Mechatronika,
Optika, Gépészeti Informatika Tanszék
rikiss@mail.bme.hu

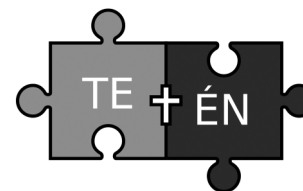
HÁTRÁNYOS HELYZETŰ GYEREKEK FORMÁLIS ÉS INFORMÁLIS TANÍTÁSA

2012-ben Budapest VIII. kerületében a Salétrom utcai református gyülekezet új kezdeményezést vállalt föl. A Józsefváros Magdolna negyedében élő emberek felé olyan tevékenységekkel nyitott, amelyek személyes és közösségi síkon is értéket teremtő és -megőrző erővel bírnak, valamint kézzelfogható hatást gyakorolhatnak a kerület életére. A TE+ÉN közösség programja a hitéleti alkalmak mellett jelenleg rendszeresen oktatási tevékenységekből és gyerekfoglalkozásokból áll. A tanodában húsz gyerek húsz önkéntessel tanul; játszótérzónákban és egyéb szabadidős programokban további tizenöt önkéntes segítségével végzünk közösség-szervező munkát, összesen körülbelül ötven gyerek számára.

A teljes kerület lakosságának körülbelül harmada cigány, többségük a Magdolna negyedben él, jellemzően nagy szegénységben. A gyülekezet földrajzilag csak pár perc sétára van ettől a városrésztől, mégis társadalmi, kulturális és etnikai értelemben egészen távol. Ezt a kontrasztot tapasztalva egyre több fiatalban és gyülekezeti tagban fogalmazódott meg igény egy új találkozási felületre, amely végül intuitív módon, alulról szerveződően meg is született.

Nagy hangsúlyt fektettünk a saját kontextusunk és az itt élő emberek megismerésére, új kapcsolatok építésére. Hamar nyilvánvalóvá vált, hogy különböző modellekből vagy módszerekből sokat tanulhatunk, de receptszerű átvételük olyan leegyszerűsítő megoldás

lenne, amely végül szükségszerűen megváltoztatná eredeti célkitűzéseinket. Nem intézményt akartunk létrehozni, hanem közösséget. Ahol előbb intézmény épül, ott a falak szimbolikusan egyúttal akadályokká is válnak a közösség épülésében, új emberek elérésében. Ahol viszont előbb közösség épül, és később maga a közösség épít önmagának intézményt: ott a falak inkább a védelmet és az otthon szimbolizálják. A közösségközpontúságot emeli ki a projekt TE+ÉN elnevezése is. A logóban a két szó két, különböző színű kirakó-darabon szerepel, az összekötő elem pedig egy kereszt. Ezzel a sokszínűséget, kulturális különbözőséget, keresztyén jelleget és az összetartozást szerettük volna kommunikálni.



A közeli Lakatos Menyhért Általános Iskolában tartott hittanórák több, a Magdolna negyedben lakó családdal adtak találkozási felületet. Az órák növekvő népszerűsége arra bátorított, hogy a gyerekek számára iskolán kívüli szabadidős programot is szervezzünk. Az iskola melletti Kesztyűgyár Községi Ház adott otthont minden hónapban egy vasárnapi játszótérnek, ahol a gyerekek csapatjátékokban, kézműveskedésben, közös éneklésben vehettek részt.

Egy év elteltével szükségét éreztük annak, hogy a megkezdett munkát saját helyen folytathassuk és ki is bővítsük. A szabadidős programok rendszeresítése mellett szerettünk volna reagálni a hátrányos helyzetű gyerekek tanulási nehézségeire is, ám ehhez nagyobb függetlenségre volt szükségünk. A svájci

HEKS (Hilfswerk der Evangelischen Kirchen Schweiz, Svájci Protestáns Egyházak Segélyszervezete) támogatása lehetővé tette egy új infrastruktúra megteremtését: fedezni tudtuk egy félállású munkatárs bérét és a helyi önkormányzattól kedvezményesen bérelt helyiség költségeit.

Az új helyiség választásánál megvalósult a szándékunk, hogy a szeparálódással szemben olyan helyen folyjanak a tevékenységeink, amely az itt lakók életterének természetes része. A sarki épület egy sokadosztályú kocsi és egy drogkereskedelemtől elhíresült ház között áll, az iskolától és két játszótértől is egy percre. Tipikus nyolcadik kerületi környék. Ebben a közegben szerettünk volna új értéket és alternatívát felmutatni.

A projektnek ebben a kezdeti szakaszában születtek meg az azóta is tartó bizalmi kapcsolatok és barátságok, amelyek nemcsak önmagukban hordoznak közösségi értéket, de ezekre lehetett építeni minden későbbi sikeres munkát is. Számos szociális és hitéleti kezdeményezésnél egyaránt háttérbe szorult ez a kapcsolati faktor, holott tapasztalatunk szerint ez kulcsfontosságú szerepet játszhat a programok eredményességében.

Játék határok nélkül

A különböző nemzetiségek közötti távolságtartás és feszültség valós jelenség Magyarországon is, amely nemcsak szélsőséges politikai megnyilvánulásoknál válik kézzelfoghatóvá, hanem akkor is, amikor valódi, minőségi találkozás és kapcsolat alakul ki a teljesen más háttérrel jövő emberek között. Olykor ez a távolság földrajzilag is körülhatárolhatóvá válik. Jól mutatja ezt egy eset, amikor két tízenéves kislányt, akiket szinte az utca nevelt, egy programunk előtt elhívtunk magunkkal a közeli boltba uzsonnát venni. Ijedten néztek

egymásra, és közölték, hogy ők még soha nem mentek át ezen az úttesten. Az úton túl már egy másik világ van. Viszont minden falnak két oldala van: amikor ezt meséltem egy egyetemista barátomnak, bevallotta, hogy bár a kerületben nőtt fel, ő sem nagyon járt még ezen a „térfélen”.

A kulturális szakadék megjelenik az oktatásban is. A cigány többségű osztályokban egészen másképp fogadják egy cigány tanár vezetését, mint egy magyarét. Ezt általában a gyerekek nem fogalmazzák meg, lehet, hogy nem is tudatosan tesznek így. Az első hittanórákon, amikor elővettünk egy-egy cigány éneket, akkor a gyerekek kissé zavarba jöve tették fel a kérdést: „Akkor most maga paraszt vagy nem?”¹ Hagyományörző oláh cigány családoknál még élesebben megjelenik ez a távolságtartás, amikor egy-egy jól tanuló fiatalot visszafognak vagy akár tiltanak a tanulástól, attól való félelmükben, hogy az illető elmagyarosodik, ha magyaroktól tanul (*Megértetek*, 2014).

Önbecsapás azt gondolni, hogy ezek a szakadékok nem léteznek, jelentéktelenek vagy csak szociális okok miatt állnak fenn. Kérdés, hogy eltűnhetnek-e valaha is, de hidak építésére mindenképp szükség van, ha nem szeretnénk párhuzamos társadalmakban élni.

Ilyen hídépítést szeretnénk megvalósítani a vasárnapi játszóházainkkal is. A főleg alsós korosztályból érkező gyerekek is tudatában vannak ezeknek a határoknak, szakadékoknak, gyermeki nyitottságuk és kíváncsiságuk azonban lehetővé teszi ezeknek formálását,

átjárhatóvá tételét. A játszóházak tematikáját különböző országok, kultúrák megismerése köré szervezzük. Minden hónapban egy országról tanulunk, kipróbáljuk az adott nép gyerekjátékait; kézműves időben elkészítünk különböző dísz tárgyakat vagy nemzeti jelképeket; lehetőség szerint vendéget hívunk az adott országból, aki képeken bemutatja az ottani szokásokat, ünnepeket; uzsonnára az adott kultúra ételét fogyasztjuk. A minőségi szabadidő mellett ez az alkalom indirekt tanítás az elfogadásról, és közvetlen tapasztalat arról, hogy a világ bármely kultúrájából lehetnek barátaink. A játékokon túl ez legerőteljesebben akkor jelenik meg, amikor egy asztalhoz ülünk enni: a befogadásnak ezt a szimbolikus nyelvét már a gyerekek is egészen kicsi kortól kiválóan megértik.

Sokat elárul a gyerekek erősen zárt világképéről és -tapasztalatáról, hogy amikor egy évvel ezelőtt elkezdtük ezt a tematikát, a legtöbbszörüknek fogalma sem volt arról, hogy Európában élünk, vagy hogy Magyarország hol van a térképen. Balatoni táborozásra indultunk, amikor félóra vonatozás után a harmadikos kisfiú izgatottan kérdezte: „Elhagytuk már Magyarországot?” Egy év elteltével a gyerekek már felismerik a kontinenseket, országok zászlóit, de ami még fontosabb: számos kultúráról van emléküik és benyomásuk.

Amikor Amerika, Korea, Székelyföld, Hollandia, Lengyelország után megérkeztünk a cigány kultúrához, már egészen másképp tudtunk beszélni az identitásról, szokásokról, mint korábban. A gyerekek büszkén mutatták a bodagot (cigánykenyeret), mintha éppen otthonukban látnák vendégül a magyarokat. Egy ilyen kontextusban a cigányság felvállalható érték, amelynek ott a helye a világ bármely más elismert kultúráinak sorában. Ha viszont érték, akkor ismerni, örizni kell,

sőt szükséges újra felfedezni, különben egy idő után maguk a cigány nemzetiségűek is a különböző társadalmi devianciákban fogalmaznák meg identitásukat. „Attól vagyok cigány, mert fekete a bőröm és fekete a vérem.” – mondta az egyik tizenéves fiú, majd amikor ránézett a mellette ülő fehér bőrű cigány barátjára, kiegészítette: „De főleg attól, hogy ha kell, felállok, száz felnőttnek is nekimegyek, engem nem érdekel. Meg ha kell valami, elveszem.” Minél inkább eltűnik a tradicionális kultúra, hagyomány, műveltség, nyelv egy nép életében, az identitászavar szinte vákuumként vonzza be a pótcselekvéseket és negatív szokásokban megfogalmazódó önképet. Meggyőződésünk, hogy a gyerekek közösségben történő, informális tanítása hosszú távon inspirálja őket saját kultúrájuk pozitív megélésében, illetve a társadalmi együttélés során az identitásvesztéstől való félelem nélküli alkalmazkodásban. Ennek minősített, ünnepi megélésére adnak lehetőséget a vasárnapi istentiszteletek, amelynek közösségét a helyi magyar és cigány lakosság közösen formálja, magyar és cigány lelkészek tanítanak, magyar és cigány nyelven is megszólalnak a keresztyén énekek.

„Míg más olvasott meg írt,
ő csak ordítani bírt”

Weöres Sándor: *Sehallselát Dömötör*

A kialakult személyes kapcsolatok és a családoktól érkező bizalom lehetővé tette, hogy a gyerekekkel iskolán kívüli foglalkozásokon is tanulhassunk. 2014 őszétől indult el pilotprogramként a TE+ÉN Tanoda, amely célkitűzéseiben hasonló más tanodákhoz, de igyekeztünk a megvalósításban a kontextusunk sajátosságaihoz minél inkább alkalmazkodva megtalálni a saját modellünket.

A hátrányos helyzet jóval komplexebb probléma, semmint pusztán a szegénység vagy a különböző lehetőségek hiánya. Egy gyerek eredményes és örömmel teli tanuláshoz nem pusztán tanfelszerelésre és ruhára van szüksége. Sokszor nem a szegénységből fakadó esz-közhiány jelenti a legnagyobb hátrányt, hanem a családi háttérből hozott sérülések, tanulással szembeni közöny és motiválatlanság. A tárgyi feltételek megteremtése is komoly kihívás, de a motiváció megszerzésére és fenntartására végképp nem adható olyan recept, amely intézményszerűen alkalmazható lenne.

Közzoktatási rendszerünk hosszú távú célokra épít, feltételezi, hogy a tanulás a megélhetés feltétlen eszköze. Ezzel szemben a cigány kultúra jellemzője, hogy rövid távon gondolkodik. A szegénység és a napról napra való élés bizonytalansága szintén nem tud mit kezdeni a hosszú távú célokkal. De a többségi társadalom digitális kori gyermekeinek is egyre inkább rövid távú, belátható időn belül elérhető célokra és sikerekre van szüksége ahhoz, hogy motivált maradjon a tanulásban és a munkában. Ezzel szemben a tanulásra való buzdításban még mindig a leggyakrabban hallott érv az, hogy jó jegyekre van szükség ahhoz, hogy jó középiskolába mehess, hogy utána (ha szerencséd van) jól fizető szakmát tanulhass, és meg tudj élni. Úgy gondolom, ez a távlat egy gyerek (és egy hátrányos helyzetből jövő gyerek számára különösen is) beláthatatlan, épp ezért semmilyen motivációs erővel nem bír. Ehhez hozzá kell vennünk azt is, hogy egy olyan párhuzamos társadalom, amelyben a bűnözés nagy erővel meghatározza az itt élők minden napjait, a mi pedagógiai dogmáinkkal szemben számos alternatívát kínál. Soha nem lesz átütő érv a tanulás mellett egy *esetleges* jól fizető munkahely, amíg egy tízéves fiú ötzetet

¹ A *paraszt* kifejezésnek ebben a kontextusban nincs negatív töltete, egyszerűen olyan emberre használják, aki nem cigány. A szóhasználat őrzi annak a társadalmi együttélésnek a nyomát, ahol a cigányok vándoroltak, alkalmi munkákból vagy kereskedésből éltek, a gázdíszók többsége pedig földművelő parasztember volt.

kap, ha kérdezősködés nélkül átszalad egy borítékkal egyik sötét utcából a másikba. Az iskolát kezdő fiúk között sem egyszer válszolják a „Mi leszel, ha nagy leszel?” kérdésre, hogy „strici”. A külső szemmel nyilvánvaló erkölcsi problémát a legtöbb gyerek nem is érzékeli, hiszen éppannyira gyakran találkoznak ezekkel a „szakmákkal”, mint buszvezetővel vagy tanítóval.

Tapasztalataink szerint a nem hátrányos helyzetből jövő gyerekek többsége számára sem érték a tanulás önmagában. Sokkal inkább motivál a tanulásra az, hogy a családnak ez fontos, presztízskérdés, a gyerekek sokszor úgy érzik, hogy jó teljesítményük miatt tartják értékesnek őket a szüleik, és fejlődésük érdekében külön figyelmet kapnak. Ez a fajta értékrend viszont hirtelen nem jelenhet meg azokban a családokban, ahol már generációk óta nincs jelen. Mint ahogy az is elképzelhetetlen, hogy egy olyan szülő, aki maga is nehezen ír-olvas, segíteni akarjon vagy tudjon gyermekének a betűvetésben – ennél sokkal erősebb a szegény és büszkeség belső játéka.

A család támogató jelenléte mellett vagy annak hiányában ugyanilyen erős motivációvá válhat a pedagógus felől érkező elismerés és az iskolai siker. Egy jó jegy, egy jutalom-pont vagy nyilvános dicséret világosan üzeni a tanulóknak, hogy érdemes folytatnia a jó munkát. Az effajta dicséretekből viszonylag kevés jut a hátrányos helyzetből érkező gyerekeknek. Legtöbbször közülük eleve lemaradással érkeznek az iskolába, mind készségek, mind általános tájékozottság terén. Első két osztályban rendszeresen előfordul, hogy nem tudják megkülönböztetni az évszakokat vagy a színeket. Előfordult, hogy a negyedik osztály közel fele nem tudta a saját születésnapját. Tapasztalataink szerint az első iskolai években meglévő hátrányok már korán tük-

röződnek a rossz jegyekben, ami a kudarcélmény miatt a tanulástól, teljesítménykényszer-től való szorongáshoz, negatív önképhez vezet. 5–6. osztályra sokszor ez teljes érdektelenség-gé növi ki magát, és a halmozódó lemaradás miatt ekkorra szinte lehetetlenné válik viszszafelelni a folyamatot. A tanuló személyes bátorítása, egyéni visszajelzés, segítség, buzdítás szerepe kulcsfontosságú a fejlődésben – erre viszont még egy kiváló tanítónak is annál kevesebb lehetősége van, minél többen vannak az osztályában.

Úgy láttuk, hogy ebben a helyzetben egy tanodai programmal pont azokon a területeken lehet segítséget nyújtani, amelyekben a legnagyobb szükség van. A tanodai foglalkozásokon nem csupán korrepetálásra vagy tantárgyi ismeretek elsajátítására van lehetőség, hanem a személyes, egyéni odafigyelés is könnyen megvalósítható. Utóbbi különösen is hangsúlyos, ugyanis látásunk szerint az csak tünet, hogy egy adott tananyagot nem, vagy csak nehezen tud elsajátítani egy gyerek, az egyszerű korrepetálás épp ezért csak ideiglenes tüneti kezelés lenne. A foglalkozásokat inkább nem egyes tantárgyakból való felzárkóztatás köré szerveztük, hanem önkéntesekből és gyerekekből tanulópárokat alakítottunk, hiszen nem plusz tananyagból, hanem stabil, kiszámítható kapcsolatokból van hiány. Minden gyerek legalább heti rendszerességgel, ugyanazzal a felnőttel találkozik, és együtt tanulnak, bármilyen tantárgyból. A jól működő párok között rövid idő alatt egyfajta gyerek–felnőtt barátság alakul ki, az önkéntesre egyszerre tekint a gyerek tanítónak, példaképként, de cinkos barátként is. Meglepően nagy erővel motivál sokukat az az egyszerű tény, hogy van legalább egy személy, aki megkérdezi, hogy milyen volt az iskolában, mi a házi feladat, hogy sikerült a múltkor

dolgozat. Ez a külön odafigyelés minden gyereknek természetes igénye, illetve joga is. A személyes kapcsolatban nincs versenyhelyzet, nem kell legyőzni a másik gyereket, nem forog veszélyben az egyén értéke a másik jó teljesítménye miatt. A kudarcélménytől megcsömörlött gyerekek számára már ez is felszabadító erővel bír. Cserébe viszont az apró hibák és szépségek is látszanak, visszajelzést kapnak, a javításnak és a teljesítménynek garanciát adva megvan a pozitív visszacsatolása. Megéri tanulni.

A gyermekek mentorjellegű kísérésén túl a személyes foglalkozások lehetőséget adnak alternatív tanulási módszerek megvalósítására. Hiába kérdezzük egy szorzás eredményét kilencszer egy gyerektől, egyre hangosabban, attól még tizedjére sem fog rájönni a jó megoldásra. Viszont játékba, rejtvénybe ágyazva a butának skatulyázott gyerekek is meglepő gyorsasággal sajátítanak el olyan tudást is, amit hagyományos iskolai helyzetben nagyon lassan tudnának. Egy negyedik fiúnak az egyszerű összeadással is nehézségei voltak, így a szorzással sem tudott megbirkózni. Bármilyen matematikai feladatot kellett megoldani, leblokkolt, nem szólalt, és nem mozdult meg. Adtunk elé egy számológépes programot, ami egyszerűen csak a szorzótáblát kérdezte ki, és azt ígértük, hogy ameddig eljut a tanulásban, annyi cukorkát kap (az egyes szorzóért egyet, a kettesért kettőt stb.). Az első alkalom volt, hogy szívesen matekozott. Három sor után megtorpant, és nem akarta folytatni: „El fogom veszíteni a cukorkáimat”. „Viccelsz?! Ezzel a programmal nem tudod elveszíteni, addig kérdez, amíg nem tudod. Csak nyerehetsz.” A kisfiú elmosolyodott, és végül egyetlen délután megtanulta a teljes szorzótáblát – ami iskolai környezetben hónapokon át nem sikerült.

Az alternatív tanulási csatornák használatánál nemcsak a lemaradást lehet könnyebben behozni, hanem a tehetség különböző területei is előtérbe kerülhetnek. A tanulás kontextusának megváltoztatása új célokat és esetleg erősebb motivációt hozhat magával. Egy csapat utcagyerekekkel sétálva megdöbbenő volt látni, ahogyan házról házra járva tucatnyi házhoz tudtak beléptető kódokat. Történelemórán nehezen boldogulnak az évszámokkal, viszont amint számukra is használhatóvá válik az információ, bonyolultabb számkombinációkat is játszva megtanulnak.

Rendszeresen előfordul, hogy a gyerekeknek nincs kedvük megírni a házi feladatot. Kíttűnt, hogy néhányukat kiválóan lehet motiválni azzal, ha az elvégzett házi feladatokért cserébe még több feladatot ígértünk nekik. Az iskolai passzivitás náluk abból fakadt, hogy képesek lennének több vagy nehezebb feladatot elvégzésére is, de ami nem jelent kihívást, az számukra unalmas.

Egy ilyen szociális közegben számolni kell azzal is, hogy a tehetséget sokszor elfedik más lemaradások. Általában a versenyezettetés módszere használatos a tehetséges gyerekek kikutatásában. De azok a gyerekek, akiknek az iskola túlnyomó részt kudarcélményekből áll, és akik szegényalapú kultúrában élnek, nehezen tűrik el a versenyhelyzetet. Hittanórán kirakót kellett kiraknia két csoportnak, a gyorsabb győzött. A gyerekek lelkesen kezdték el a versenyt (a dicséret szó kecsegtető reménye...), de a játék végén a vesztes csapat egyszerűen felállt, és kiment az óráról.

Állandóan vannak versenyhelyzetek az életben, játékban és munkában egyaránt, ezeket nem lehet egyszerűen megspórolni. Viszont fel lehet készülni rájuk. Ha ez nem történik meg, akkor a versenyezettetés nem alkalmas arra, hogy a tehetség és tudás meg-

mutatkozzék, mert a kudarcból való félelem miatt rejtve maradnak a pozitív képességek. Amikor matematikai versenyfeladatokat oldottunk meg a tanodában, rá kellett jönni, hogy a negyedikes résztvevők azért nem akarják még csak megpróbálni sem, mert szégyellik, hogy nagyon nehezen olvasnak. Próbaképp felolvastuk nekik a feladatokat: negyedóra alatt hibátlan tesztet töltöttek ki.

*„Akarsz-e élni, élni mindörökkön,
játékban élni, mely valóra vált?”*

Kosztolányi Dezső: *Akarsz-e játszani?*

A tanodába jelenleg főleg alsósok járnak. Cé-lunk a nagyobb lemaradás megelőzése, ami az első négy évfolyamban korántsem olyan lehetetlen, mint a felsősöknél. 5–6. osztályos korban már nagy számban morzsolódnak le az iskolából gyerekek. Ennek okai között a tanulási lemaradás csak az egyik, de jelentős faktor. Abban bízunk, hogy azoknál a tanodásoknál, akiknél felső tagozatba érve is megőrizhető ez a személyes, bátorító kapcsolat, sokkal kisebb lesz a lemorzsolódás aránya.

A tanodás gyerekek több mint fele a közeli Lakatos Menyhért Általános Iskolából jár hozzánk, a délutáni napközi idejében. Az iskola partneri együttműködése hozzájárul ahhoz, hogy ne iskolaidőn túl kelljen a gyerekeket „túlóráztatni”, könnyebben elérhetőek a gyerekek, és a napközis csoportok nevelői is eredményesebben haladhatnak, ha egy-két rossz magaviseletű gyerek a csoporttól elkülönítve dolgozhat. Az egyébként közönyös szülők is szívesebben támogatják a tanodai részvételt, ha az kvázi iskolához kötődő program, és nem kell nekik külön elvinniük a gyereket a foglalkozásokra. Ha sikerül az anyagi feltételeket megteremteni hozzá, a szülők motiváltabbá tételéhez szeretnénk el-

indítani egy ösztöndíjprogramot, amelyben a tanodás gyerek szorgalmától függően 3–5 ezer Ft-os támogatást adnánk a családnak. A nagy szegénységben élőknek ez az összeg is komoly támogatást jelenthet, különösen jól időzítve, mégis sokkal értékesebb, mint egy egyszerű, csak szociális alapon kiosztott segély. A család érdekeltté válhat a tanítatásban, büszke lehet a gyerekére (hiszen jutalmazza a teljesítményét), és a kisgyerek önbecsülését is növeli, hogy ezzel segíti szüleit. Hosszú távon pedig informálisan közvetíti a szorgalom értékét, a fizetés örömeivel a munka méltóságát.

Az ösztöndíjnak egy egyszerű változata a már működő pontozási rendszerünk is. A gyerekek minden foglalkozás végén pontokat gyűjtenek, az egyszerű értékelés viselkedési és kognitív szempontból ad visszajelzést. Az iskolai jegyeknek kevés motivációs erejük van, hiszen legfeljebb annyi a „hasznuk”, hogy év végén egy újabb jegy születik belőlük. Holott az értékelés kiváló lehetőséget adna a gyerekekben különösen is erősen élő gyűjtögető-jutalmazó szenvedély aktivizálására. Rengeteg számítógépes és telefonos játék épít erre az emberi jellemvonásra, felnőttek esetében is. A tanodás pontozás is ötös skálán értékkel, akár csak az iskolai, egy nagy különbséggel: azt mondtuk, hogy ezek a pontok *gyűjthetőek*. Az elején még magunk sem tudtuk, hogy mire lesznek jók a pontok, vagy miért kellene gyűjteni őket, a gyerekek mégis ennek az egy szónak hallatától már lázba jöttek, és rendkívül aktívan vettek részt a programokon.

Később adományokból lehetőségünk volt „boltot” nyitni, ahol a gyerekek a pontjaikért játékokat, tanszereket, higiéniai eszközöket, belépőjegyeket, használati tárgyakat vásárolhattak, vagy más aktív tevékenységekre fizethetnek be, így a gyűjtési láz már kézzelfogha-

tó céllal is párosult. A tárgyakat úgy áraztuk be, hogy a kevésbé értékes tárgyak arányosan többre kerülnek, míg ha valaki spórol egy tartósabb, nívósabb nyereségre, sokkal jobb ár/érték arányban költheti el a pontjait: egy tetoválás matrica 5 pont volt, de 30 pontért cserkész táborba lehetett menni. Megint csak informális tanítás során, de hatékonyan elkezdett fejlődni a legkisebb gyerekeknek is a pénzkezelési készség, amelynek felelősségét saját életkorának megfelelő szinten, de mégis a saját bőrén tapasztalhatja. Pár hónappal később már volt olyan kilencéves kisfiú, aki igazán mély szegénységben élt (nemegyszer fordult elő iskolaidőn kívüli időszakban, hogy a testvéreivel semmit nem tudtak enni), mégis a nyári táborra ő maga gyűjtötte össze a részvételi díját. Egyszerűen behozta perselyben azokat a húsz-száz forintokat, amiket egyébként rágóra vagy internetkávézóban szoktak elkölteni. Az egyébként egyszerű pontozási rendszer győzte meg arról, hogy érdemes a keveset megbecsülni.

A cigány kultúrában hagyományosan is korán kezdődik a felnőtt lét: vannak szülők, akik tízéves kortól magukra hagyják a gyerekiüket, hogy szerezzék meg maguknak azt, amire szükségük van. Ezt a jelenséget nyilván a nagyfokú szegénység is erősíti. A keményebb háttérből jövő gyerekek ilyenkor kezdenek el lopni vagy seftelni, hiszen másképp aligha tudná megoldani magának, hogy új cipője legyen. A hozzánk járó gyerekeknek a pontozó-jutalmazó rendszer ebből a szempontból preventív hatással bír, mert a kisebbeknél már azelőtt lehetővé teszünk egy legális „beszerzési módot”, mielőtt tényleg magára lenne hagyva. Beszédes, hogy a vásárolható tárgyak közül messze legnépszerűbbek a tanszerek. Egyrészt szégyellik, ha hiányzik valamilyen felszerelésük az iskolában: egy fiú több héten

át hiányzott az osztályból, de mindig csak egy adott napon, mire végül kiderült, hogy azért, mert nincs úszónadrágja az úszásórához. Másrészt büszkeséggel tölti el őket, hogy meg tudták szerezni maguknak a saját eszközeiket, és közben a szülők is örülnek, hiszen pénzben kifejezve is van értéke a pontokkal vásárolt jutalomnak. Ez a fajta támogatási rendszer egészségesebbnek tűnik, mint egy egyszerű segélyezés, mert erős pedagógiai hatása van, és mert a segítő-segített szerepekből kimozdulva megmaradhatnak a szimmetrikus emberi kapcsolatok.

„Tűzoltó leszel s katonal!”

József Attila: *Altató*

A legtöbb alsós korosztályú gyerekek még van álma, célja arról, hogy milyen foglalkozást szeretne végezni felnőttként. Még ha gyakran meg is jelennek ezek között a kriminális világ tapasztalatának lecsapódásai, azért minden gyerekeknek vannak olyan pozitív, idealisztikus elképzelései különböző szakmákról, amelyek vonzóak számukra, és amelyekre érdemes lehet építeni. Az iskolai sikertelenség és a korán érkező felnőtt-lét ezeket az álmokat felső tagozat végére teljesen szertefoszlatja.

Szeretnénk minél több impulzust adni a gyerekeknek, hogy a szakma, munka pozitív képe minél tovább életben maradjon. Vállaltuk, hogy azokat, akik lerajzolják álmaik munkahelyét, megpróbáljuk eljuttatni oda, hogy kipróbálhassák az adott szakmát. Minden bizonnyal éveken át felejtethetetlen marad a két kislány számára, amikor egy bíróságon vendégként kipróbálhatták, milyen lehet bírónak dolgozni, milyen érzés bírói talárt viselni. Mint ahogy sokáig állatkerti gondozó szeretne még lenni az a kisfiú, aki megetethette az oroszlanokat. Ezeknek az élmények-

nek is fontos eleme, hogy nem csoportot viszünk el, hanem konkrét gyerekeket. A különlegesség, kiválasztottság, hivatás érzése így sokkal erősebb, és reményeink szerint maradandóbb is lehet.

A szaktudást is szeretnénk vonzóvá tenni különböző szakkörök segítségével. A foglalkozásokat önkéntesek vezetik, saját hobbijukról vagy szakmájukról tanítva gyerekeket kiscsoportban. A szakkörök minitanfolyamként működnek, összesen nyolcórányi foglalkozásból állhatnak, és a vezetőnek olyan tudást kell ennyi idő alatt átadnia, amely kézzelfogható és rögtön használható. Az iskolai tananyag gyakran olyan elvont ismereteket közöl, amelyeknek csak töredéke hasznosítható közvetlenül a mindennapi életben. Ezzel szemben egy fényképész szakkör után rögtön van fogalmuk a gyerekeknek arról, hogy hogyan működnek a kamerák, milyen szöveget érdemes keresni egy jó fényképhez stb. A kérekláros KRESZ-tanfolyam, ékszerkészítés, süteménysütés, profi takarítászakkör és egyéb hasonló foglalkozások is azonnal használható tudást adnak át, a különböző szakmák megbecsülését növelve, illetve a gyerekek életképességét fejlesztve. Ilyen időintervallumban a célok és folyamatok a gyerekek számára be- és láthatóak, minimális fegyelmezettséggel is megvalósíthatóak. Ez rövid távon sikerélményt jelent számukra, és emiatt informálisan magában hordozza azt az üzenetet, hogy a tanulás és munka örömteli és hasznos, illetve hogy ezek személyesen neki is elérhetőek.

Örömteli, hogy viszonylag kis anyagi befektetéssel meg lehetett teremteni egy olyan infrastruktúrát, amely alkalmas sokoldalú, komplex tevékenységek folytatására. A program eredményességéhez nagyban hozzájárul az önkéntesek magas száma és személyes



A gyerekek a megszerzett pontokon kirándulni is mehetnek. A képen: önkéntesek vezetésével a Nagy-Kevély csúcsát hódították meg.

motiváltsága. De talán a legnagyobb (és nehezen mérhető) erősség a programok mögött kialakult és formálódó közösség. Meggyőződésünk, hogy a kapcsolatokra építő, közösségközpontú, alulról építkező tevékenységek kulcsszerepet tölthetnek be nemcsak az egyes emberek, de az egész társadalom életében is, mivel működő, élő kisközösségekben lehet leggyorsabban és leghatékonyabban reagálni a társadalmi kihívásokra. Bízunk benne, hogy közösségünk tagjaiból hamarosan középiskolás tanulók, egyetemi hallgatók válhatnak, hisz a gyerekek életterében megjelenő, aktívan dolgozó egyetemista, doktorandusz barátok erre is mutatnak alternatívát.

Kulcsszavak: *cigányság, református, tanoda, integráció, kultúra, hátrányos helyzet*

Lakó István

teológus, lelkész, Te+Én Alapítvány
lakoistvan@temegen.net

HIVATKOZÁS: Megtértek. Roma missziós monológ. *Replika.* (2014) 3, 87, 7–22. • <http://docplayer.hu/4044089-Megtértek-roma-missziós-monológ.html>

Kitekintés

A FEJ–NYAKI DAGANATOK ÉS A HEPATITISZ C

Amerikai kutatók szerint (University of Texas MD Anderson Cancer Center) a hepatitisz C-vírus növeli bizonyos fej–nyaki daganatok kialakulásának kockázatát is. A vírusról eddig csak a májrákban és a non-Hodgkin-limfómában játszott szerepe volt ismert.

A hepatitisz C azok közé a vírusok közé tartozik, amelyek befészkelhetik magukat a szervezetbe, és évtizedek alatt okoznak betegséget. Harrys Torres és munkatársai 34 500 személy egészségügyi adatait elemezték. Megállapították, hogy a hepatitisz C-vírus hordozóinál kétszer gyakrabban fordul elő szájüregi és torokrák, a gégerák kockázata pedig ötszörösére emelkedik.

Mivel megfelelő antivirális kezeléssel az eddig ismert hepatitisz C okozta daganatok kialakulása megelőzhető, feltehetően így van ez a fej–nyaki tumorok esetén is. Torres és munkatársai felhívják a figyelmet arra is, hogy e daganatok megjelenése esetén vírusesztet kell végezni, és feltehetően érdemes vírusellenes terápiát is végezni. Ugyanakkor szemléletváltozást jelent annak tudomásul vétele, hogy a hepatitisz C-fertőzés sem csak a májat érinti, hanem feltehetően az egész szervezet.

Mahale, Parag–Sturgis, Erich M. –Tweard, David J. et al.: Association between Hepatitis C Virus and Head and Neck Cancers. *Journal of The National Cancer Institute.* 2016. 108, 8, djw035. DOI: 10.1093/jnci/djw035

ALZHEIMER-KÓRBAN A LÁTÁS IS ELROMLIK

Az Alzheimer-kór egyik szörnyű következménye, hogy a betegek egy bizonyos stádiumban már szeretteik arcát sem ismerik fel. Kanadai és belga kutatók szerint a jelenség nem csupán a memória hanyatlásával, hanem a vizuális észlelés hibájával is magyarázható.

Alzheimer-betegségben szenvedő, illetve egészséges személyeknek fotókon arcokat és autókat mutattak. A képek szabályosan vagy fejjel lefelé álltak. Az előbbi esetben a két csoport tagjai között nem volt jelentős különbség, a megfordított arcoknál azonban a betegek sokkal többet hibáztak, és a feladatokat is jóval lassabban végezték el.

Ez azt jelenti, mondja Sven Joubert, a tanulmány vezetője, hogy az Alzheimer-kór a vizuális érzékelést is elrontja, különösen az arcfelismerés szempontjából. A kutatók számára meglepetés volt, hogy a jelenség már a betegség korai fázisában is megfigyelhető.

Joubert szerint – mivel nem csupán általános memóriaproblémáról, hanem vizuális észlelési hibáról is szó van – hangokkal támogatni lehet az arcok felismerését, ami lehetőséget ad arra, hogy a betegek tovább megőriz- zék ezt a képességüket.

Lavallée, M. M. – Gandini, D. – Rouleau, I. et al.: A Qualitative Impairment in Face Perception in Alzheimer's Disease: Evidence from a Reduced Face Inversion Effect. *Journal of Alzheimer's Disease.* 2016. 51, 4, 1225–1236. DOI: 10.3233/JAD-151027

BAKTÉRIUM-ELEMEK

Az amerikai Binghamton Egyetem munkatársai kilenc miniatűr biológiai-napelem összekapcsolásával olyan telepet állítottak elő, amely kategóriájában soha nem látott teljesítményt produkált: 1,28 Voltos működési feszültségen 5,59 mikrowattot adott le. Mind a két érték világcúcs.

A bio-energetikai technológiák kutatása más lehetőségekhez képest eddig szerény eredményeket produkált, mégis világszerte nagy erővel folyik. A fosszilis energiahordozó-készletek várható kimerülése és a Föld klímájának fenyegető változása miatt minden potenciális megújuló energiaforrás kiemelkedő figyelmet kap.

A bio-napelemekben fotoszintetizáló mikroorganizmusok a napsugarak energiáját felhasználva szén-dioxidból és vízből szénhidrátokat állítanak elő. Ezek szolgálnak az elemekben tüzelőanyagként. A baktériumok vissza-oxidálják őket szén-dioxiddá és vízzé, így az energia egy része elektromos energia formájában kinyerhető.

Wei, Xuejian – Lee, Hankeun – Choi Seokheun: Biopower Generation in a Microfluidic Bio-solar Panel. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2016. 228, 151–155. DOI: 10.1016/j.snb.2015.12.103 • https://www.researchgate.net/publication/290174102_BioPower_generation_in_a_Microfluidic_Bio-Solar_Panel

A HÁZASTÁRSI HŰSÉG KIALAKULÁSA

A történelemből ismert ősi társadalmak többségében megengedett volt a poligámia, de a legsikeresebb, a vadászó-gyűjtögető életmódról a mezőgazdasági termelésre áttérő közös-

ségekben fokozatosan kialakult a társadalmilag megkövetelt monogámia.

Amerikai matematikus és német viselkedéskutató szerzőpáros most a *Nature Communications*-ben publikált cikkben a folyamatos átalakulás okát abban látják, hogy a nagy létszámú közösségekben a szexuális úton terjedő betegségek sokkal veszélyesebbek.

Evolúciós szempontból a monogámia kevésbé előnyös, ezenkívül a közösségeknek a társadalmilag elvárt korlátozások kikényszerítéséhez, fenntartásához erőforrásokat kell mozgósítaniuk, mert a normaszegők visszatartása és megbüntetése költséges dolog. A szerzők szerint a közösségek méretének növekedésével a szexuális úton terjedő betegségek következményei egy idő után kikényszerítik a monogámiát.

Bauch, Chris T. – McElreath, Richard: Disease Dynamics and Costly Punishment Can Foster Socially Imposed Monogamy. *Nature Communications*. 12 April 2016. 7, Article number: 11219 DOI:10.1038/ncomms11219 • <http://www.nature.com/ncomms/2016/160412/ncomms11219/full/ncomms11219.html>

TELEFONHÍVÁS-HULLÁMOK

Az emberek társasági kapcsolattartási szokásainak az életkorral történő változását vizsgálták finn és angol kutatók. Hárommillió mobiltelefon-hívás adataiból végeztek elemzést, és arra a következtetésre jutottak, hogy az életkor mellett, a szociális viselkedést illetően a nem is meghatározó paraméter.

Fiatalabb korban, huszonöt év alatt a férfiak kapcsolattartása intenzívebb, mint a nőké, de az életkorral mindkét nemnél jelentős változások történnek. A harmincas évek második felében már a nők telefonálnak többet.

Huszonöt évesen a nők és a férfiak egyaránt sok időt áldoznak a kapcsolattéptésre és fenntartásra, ilyenkor éri el maximumát a telefonhívások száma. Ez után csökkenés következik, és valahol negyvenéves kor körül stabilizálódik a telefonálások mennyisége. Egy megállapodott szakasz következik, amely egészen hatvanéves korig tart, ahol újabb csökkenés kezdődik.

Bhattacharya, Kunal – Ghosh, Asim – Monsivais, Daniel et al.: Sex Differences in Social Focus across the Life Cycle in Humans. *Royal Society Open Science*. 6 April 2016. 3. 160097. DOI:10.1098/rsos.160097 • <http://rsos.royalsocietypublishing.org/content/3/4/160097>

MÁSSÁG – KISEBBSÉG VAGY TÖBBSÉG

A férfi homoszexualitásra hajlamosító gének a férfiak felében, a nők több mint felében megtalálhatók – valószínűsíti modellszámításai alapján a Tbiliszi Ökológiai Intézet kutatója.

A homoszexualitást a történelem során szinte minden emberi kultúrában dokumentálták. A legújabb ikervizsgálatok azt támasztják alá, hogy a homoszexualitásnak genetikai okai is vannak. Ez azonban azt az evolúciós kérdést veti fel, hogy mi az előfordulási gyakoriság viszonylagos stabilitásának oka, hiszen a statisztikai adatok szerint a homoszexuális férfiaknak átlagosan ötször kevesebb utódjuk van, mint a heteroszexuálisoknak.

A legújabb kutatási eredmények szerint a férfi homoszexualitásra hajlamosító géneket hordozó nők termékenyebbek az átlagosnál, és ez hozzájárul ahhoz, hogy a bemutatott modellszámítások eredménye szerint ezek a gének nagyon gyakoriak lehetnek.

Chaladze, Giorgi: Heterosexual Male Carriers Could Explain Persistence of Homosexuality in Men: Individual-Based Simulations of an X-Linked Inheritance Model. *Archives of Sexual Behavior*. DOI 10.1007/s10508-016-0742-2

ZÖLD UTAT KAPOTT A „GÉNEDITÁLT” GOMBA AZ USA-BAN

A génmérnökség egy mindössze három–négy éve létező módszerével, az ún. CRISPR-technikával készült az a genetikailag módosított gomba, amelynek termesztéséhez és árusításához minden hatósági eljárás nélkül adott szabad utat az Amerikai Mezőgazdasági Minisztérium.

A sokak által csak génszerkesztésnek, géneditálásnak hívott CRISPR-módszer segítségével tetszés szerinti ponton vágható el az élő sejtben a DNS. Az elvágás természetes helyreállítása és annak egy bizonyos fokú módosítása mutációk létrejöttét teszi lehetővé azon a helyen. Tehát a DNS-ből a kívánt ponton „betűt” lehet kivenni és más betűvel helyettesíteni, azaz mutációt lehet létrehozni.

A Pennsylvania State University kutatója, Yinong Yang növénypatológus a módszerrel a közönséges csiperkegomba örökítő anyagát módosította úgy, hogy ne legyen képes megbarnulni.

A gomba barnulásáért a polifenol oxidáz enzim felelős. Yang az ezt kódoló hat gén egyikét „ártalmatlanította”, így az enzim aktivitása harminc százalékkal csökkent.

Yang gombája genetikailag módosított organizmus (GMO) ugyan, a minisztérium mégis eltekintett a hatósági eljárástól. Az indoklásban kifejezték, hogy a CRISPR-techni-

kával végrehajtott génmódosítás során a gombába nem került vírusokból, baktériumokból származó idegen gén.

Az amerikai minisztérium döntése jelzi, hogy a technológiai fejlődés óriási változásokat fog hozni a GMO-kérdésben, hiszen a pontmutációk hatékony előállításával sok olyan terméket lehet konstruálni, amelyek előállításához mostanáig idegen gének bevitelére volt szükség. Az ezektől való félelem az

egyik oka annak, hogy például Európában a legtöbb genetikailag módosított növény termesztése tilos.

Waltz, Emily: Gene-edited CRISPR Mushroom Escapes US Regulation. *Nature*. 14 April 2016. DOI:10.1038/nature.2016.19754
• <http://www.nature.com/news/gene-edited-crispr-mushroom-escapes-us-regulation-1.19754>

Gimes Júlia



Könyvszemle

Egy tudós gimnáziumi tanár önéletírása

A visszaemlékezéseit nyugdíjba menetele után papírra vető gimnáziumi tanár egyetemi pályán indult, és kutató alkatát, tudósi kíváncsiságát a három évtizedes soproni középiskolai működése alatt is végig megőrizte. Ha igazuk van azoknak a történészeknek, akik hosszú 19. és rövid 20. századról írnak, *Dér Zoltán* (1897–1994) három évszázadban élte tragikus történelmi fordulatok között egyensúlyozó, példás életét. A memoárokat, így ezt is, nem utolsósorban éppen a korrajz teszi különösen érdekessé. Ahogy a szerző maga megállapítja: az egyéni léletsors háttere, „amelybe bele van ágyazva, egyúttal történelmi korkép”. Érettségire készülő gimnazista volt Temesváron, amikor kitört az I. világháború, Eötvös kollégista, amikor szétesett a Monarchia, aktív tanár a II. világháború alatt és 1956-ban, és tiszta fejjel élte meg még a rendszerváltozás első éveit is. A „nagybetűs történelem” személyesen átélt leírásai helyenként a történetírás számára is hézgapótlóak. Így például – egyik öccse részvétele miatt – közvetlen élmények alapján számol be temesvári magyar fiatalok, többségükben diákok ellen a román hatóságok által 1920 elején (tehát még a trianoni döntés előtt) összeesküvés miatt indított hadbíróági eljárásról és a brutális ítéletekről, vagy Sopron 1944–45-ös súlyos bombázásairól. Oktatástörténeti szempontból jelentős adalékokat szolgáltat Dér

Zoltán írása az ún. szakérettségis tanfolyamokról az 1950-es évek első felében.

A történelem viharos kulisszái között zajló egyéni sors eseményeiről és a kor – jobbára természetesen saját mikrovilágának – szereplőiről nem kevésbé érdekes leírásokat olvashatunk. A színjeles bizonyítvánnyal érettségiző, a budapesti egyetemen matematika-fizika szakot választó fiút, akinek apja ötgyermekes latin–magyar szakos gimnáziumi tanár, 1916 őszén felveszik a báró Eötvös József Collegiumba – „félfizetési helyre”. A magyar felsőoktatásnak erről a kitüntetett pozíciójú intézményéről már kisebb könyvtárnyi – részben memoár-jellegű – irodalom született. Ennek ellenére nemcsak élvezetes, hanem tanulságos is Dér Zoltán részletes és szemléletes leírását olvasni a már a Ménési úti épületben működő Collegium akkori belső rendjéről, az ott folyó munkáról, néhány érdekesebb kollégistatársáról és nem utolsósorban a tanárokról. Eckhardt Sándor tanított franciát, és Waldbauer Károly adott hegedűórákat a kollégistáknak. Külön megemlékezik a visszatekintés a „hatalmas könyvtárról, a kollégium büszkeségéről”, kiemelve, hogy „a matematikának külön könyvtára volt a második emeleten”. Egyetemtörténeti értékűek a Tudományegyetem és a Műegyetem nagy tanárgenerációjáról: Eötvös Lorándról, Fejér Lipótról, Beke Manóról, Fröhlich Izidorrról, Klupathy Jenőrről, illetve Kürschák Józsefről és Wittmann Ferencről adott jellemzések. Eötvös Lorándnak „már első előadása is

megragadta a figyelmemet. Kis távolságok méréséről volt szó. Bemutatta, hogyan lehet egy kötőtűnek felmelegítésekor bekövetkező megnyúlását tükröről visszavert fény eltolódása alapján érzékenyen megmérni. A fényjel pár métert tolódott el a falon. Most, amikor magam is tanári pályám végére jutottam, látom igazán, hogy milyen kitűnőek voltak az előadásai, mennyire világosak és szabatosak.” Fejér Lipót „nagy hírnevét a Fourier-sorokra vonatkozóan felállított szummációs tételének köszönhetette: *Fejér-tétel*. E tételt Párizsban publikálta. Az addig ismeretlen Fejérre egyszerűen felfigyeltek a magyar matematikusok is. Mikor megjelent, egyszerűen belékaroltak. [...] Szellemes ember volt. Előadásait – tartalmasságuknál fogva – szívesen hallgattuk. [...] Mint vizsgáztató közkedveltségnek örvendett. Volt vagy tíz vizsgatétele, többnyire ezeket kérdezte, és nyugodtan, barátságosan vizsgáztatott. Inkább enyhe volt, mint szigorú.” Fröhlich „klasszikus elméleti fizikát adott elő. [...] nekem nyíltan megmondta, hogy a relativitástant nem képes igazán megérteni, annyira ellenkezik az ő megszokott gondolkodásmódjával.”

Dér Zoltán szakdolgozatát matematikából az elliptikus függvények, fizikából (200 oldalon) a Faraday-effektus problémaköréből írta, és a Trefort utcai Mintagimnáziumban töltött középiskolai gyakorlati év után mindkét tárgyból kitűnő eredménnyel tette le tanári szakvizsgáját. Fizikai dolgozatának írása közben az is érdekelt, hogy vajon a fénysugarakhoz hasonlóan meg lehet-e törni a röntgensugarakat, vagyis ez utóbbiak is mutatnak-e Faraday-effektust. Utolsó egyetemi hallgatói évében (1920/21) már fizetéses gyakornokként dolgozott Fröhlich mellett; a professzor „mérési eredményeinek feldolgozása és ennek alapján fénypolározási ellipszi-

sek megrajzolása, grafikonok készítése” volt a feladata. Az elméleti fizikai intézetben akkor csak gyakornoki státus volt (Bay Zoltán lett az utódja), ezért szerzőnk professzora ajánlásával az újonnan létesített Pécsi Erzsébet Tudományegyetem Orvosi Karának fizikai tanszékén lett tanársegéd. Ez az állás különösen a röntgenkísérletek folytatásának lehetősége miatt vonzotta, amit az biztosított számára, hogy új principálisa, Rohrer László professzor vezette a röntgen-intézetet is. Fő asszisztensi kötelezettsége az előadások során bemutatandó kísérletek előkészítése volt, de a professzor távollétében az orvostanhallgatóknak a kísérleti fizikai előadásokat is ő tartotta, és kollokváltatott is. A pécsi intézet műszerparkja még csak a kiépítés stádiumában volt, de azért az akkori kor új eszközeit is igyekeztek beszerezni. Dér Zoltán leírásai érzékletes képet adnak a hozzáértő olvasónak a kísérleti fizika száz évvel ezelőtti hazai laboratóriumi feltételeiről. Kétévi pécsi szolgálat után a szerző 1925-ben visszakérült Eötvös Loránd intézetébe, amelynek élén ekkor már a „legnagyobb magyar fizikus” utóda, egykori tanársegédje, Tangl Károly állt. Dér vezette a felsőbb éves és a szakdolgozó fizika szakos hallgatók laboratóriumi méréseit, és esetenként a professzor előadásait illusztráló kísérleteket is ő készítette elő. Ezek plasztikus leírása is tudománytörténeti értékű. Doktori témáját a röntgensugarak Faraday-effektusáról megfelelő műszerek hiányában nem tudta folytatni, ezért Tangl javaslatára az alumínium felületi feszültségének meghatározásával kezdett foglalkozni. Az ezzel kapcsolatos mérések és azok technikai nehézségeinek leírása is instruktív lehet a fizika története iránt érdeklődő számára.

Az ígéretes egyetemi pálya 1929-ben szakadt meg, amikor a szerző feladta magánta-

nári ambícióját, és professzora ajánlólevelével a jó hírű Soproni Széchenyi Gimnázium tanára lett. (Itt [akkor még Főreáliskolában] tanult 1875–1880 között egy másik nagyhírű középiskolai tanár, Rátz László, akit elsősorban a Fasori Gimnáziumban nevelt Nobel-díjas növendékei tettek halhatatlanná.) Tangl annyira kedvelte és becsülte Dér Zoltánt, hogy a tudományos munkájához szükséges műszerek egy részét is utánaküldte Sopronba. A heti huszonkét tanóra mellett és a minden napok szorításai között a kutatásoknak mégsem lett folytatásuk. A kutatói ösztön és ambíció parazsa azonban nem hunyt ki, s fellobbant, ha a biztatás szellője megfújta. Ez történt, amikor egykori Eötvös Collegium-beli társa, Vendl Miklós professzor a colemanit kristály elemi térrácsának kiszámítására kérte fel, és sikeres számításainak eredményét egy

német szaklapban publikálta. S legfőképpen, az egyetemi évek bőséges tapasztalatai beépültek a polihisztor tanár oktatásába és rajta keresztül gimnazisták generációinak tudásába.

Írása bevezetőjében a szerző felteszi a kérdést: „Érdemes-e megírni az átlagember élet-történetét, aki nem »költötte dús élte kincsét milliókra?»” A recenzens meggyőződéssel állapíthatja meg: a sok nyelven olvasó, évtizedeken át a Soproni Városi Zenekarban hegedülő Dér Zoltán messze nem átlagember volt, és emlékiratai kultúrtörténeti értékek gazdag tárházát jelenítik meg. (*Maxium/Maximum – Dér Zoltán visszaemlékezései. Szerkesztő: Jakatics Árpád. Sopron: Sopron Anno Egyesület, 2015, 344 p.*)

Vékás Lajos

az MTA rendes tagja, professzor emeritus,
Eötvös Loránd Tudományegyetem

Kosáry Domokos, az Agrártudományi Egyetem tudományszervező könyvtárigazgatója

A kötet azokat a dokumentumokat tartalmazza, amelyek akkor keletkeztek, amikor Kosáry Domokos a Gödöllői Agrártudományi Egyetem, jelenlegi nevén: Szent István Egyetem alkalmazottja volt, előbb beosztott könyvtárosként, majd igazgatói minőségben. 1951 novemberétől kezdve 1957 novemberéig Kosáry figyelmét és energiáját ennek a könyvtárnak szentelte. (November 14-én letartóztatták.)

Az ismertető azzal a zavarral küzd, hogy vajon magát a kötetet állítsa-e előtérbe; szenteljen nagyobb figyelmet annak a küzdelemnek, amelyet az egyetem folytatott a könyvtárért, vagy a kötet főszereplőjére koncentrálnon. Mindhárom vonalvezetés ésszerű, sőt igazán méltányos mindhárom útvonal köve-

tése lenne. Mindazonáltal az egyetem, a könyvtár és a szerkesztők szándéka szerint a továbbiakban Kosáry Domokos kerül a középpontba, mivel maga a kötet róla szól.

Így csak rövidre fogva szögezem le, hogy a szerkesztők és munkatársaik példás munkát végeztek. Logikus vonalvezetés, tiszta szöveg, pontosság, kellő mértékű eligazítás jellemzi a kötetet. Ugyancsak futólag említtem meg, hogy maga az egyetem, a mindenkori rektor és vezető testület mindent megtett azért, hogy méltó, mind a tudományos munkát, mind az oktatást gond nélkül kiszolgáló könyvtárat mond hasson a magáénak. Az egymást követő lépések kezdeményezője szinte kivétel nélkül Kosáry volt, ám e támogatás nélkül aligha jutott volna olyan eredményekre, amelyenre kétségtelenül eljutott. Figyelemre méltó körülmény, hogy számos könyvtáros és levéltáros bizonyult kiváló történész-kutatónak, ám igencsak keresni kell olyan törté-

nést, aki kiváló könyvtáros vagy levéltáros pályát futott volna be.

Miután 1949-ben, a „nagy tisztogatásban” Kosáry elvesztette minden megbízását („tiszteltetdijas” volt a Történettudományi Intézetben, majd „ideiglenes munkatárs” az Országos Könyvtári Központ keretében), valóságos megváltásnak számított, amikor az OKK megszűnése után ismét állás nélkül maradván ideiglenes álláshoz jutott a gödöllői egyetem Központi Könyvtárában. Tudni kell azonban, hogy ez a könyvtár, amennyiben egyáltalán létezett, nem Gödöllőn, hanem Budapesten volt található, miként maga az egyetem is. Az első nagy logisztikai feladat tehát a mintegy 45 000 kötet elszállításában és elhelyezésében állt. Enélkül hozzá sem lehetett kezdeni a könyvtári rend kialakításához.

Kosárynak „fogyasztóként” volt már tapasztalata a könyvtárak ügyeiben, de ez messze nem lett volna elegendő, ha születési ajándékként nem rendelkezik átlagon felüli rendszerező képességgel. Saját iratait is olyan rendbe állította, és oly rendszeresen kezelte, hogy percek alatt megtalált bármilyen dokumentumot az irdatlan irattömegben. Egy nagy és egyre növekvő könyvtár irányításához és fejlesztéséhez azonban ez sem lett volna elég. Ehhez már egy jelentős szervező talentumára is szükség volt, és ebből a mesterségből megelőzően legfeljebb mozaikkal találkozott. Vélhetően éppen ennek a könyvtárnak áldozatkész gondozójaként jutott fel színre és teljesedett ki Kosáry szervező zsenije, amelyet azután akadémiai elnökként is bőven kamatoztathatott.

Miután sikerült megoldani a költöztetést, hozzá kellett látni a könyvek és folyóiratok, más kiadványok feltérképezéséhez, amit a könyvtárosok katalógizálásnak neveznek. A könyveket ésszerű rendben el kellett helyezni,

létre kellett hozni a betűrendes és a szakkatalógust, ki kellett alakítani az olvasótermeket, a kölcsönzés szabályait, egyszerűen a működés elemi feltételeit kellett megteremteni. A fentiekben állt a technikai feladat, amelyet az „ideiglenes munkatárs” vezetésével a kicsiny stáb sikeresen megoldott. Kosáry ennyivel azonban nem érte be. Egész fiatalon volt módja megismerkedni a nyugati világ nagy könyvtáraival, és ha tudta is, hogy egy hazai egyetemi intézmény sose fogja felvenni a versenyt a francia, angol, amerikai nagy könyvtárakkal, a mintát mégis azokról vette le.

Meggyőződése volt, hogy eredményes oktatást nem lehet folytatni és sikeres kutatómunkát sem lehet kifejteni anélkül, hogy a kiszolgáló intézmények betagolódna a nemzetközi áramlatokba. Következésképpen szívügye lett, hogy a külföldi könyvek és főként folyóiratok megvásárlására elegendő devizakeret álljon rendelkezésre. Ha nem is az általa szükségesnek vélt mértékben, de célját legalább megközelítően elérte. Ehhez a törekvéshez kapcsolódott, hogy alig melegegett meg gödöllői munkahelyén, máris azzal az ötlettel állt elő, hogy szerkesszenek meg és adjanak ki egy többnyelvű szakszótárt, amely kb. 20 000 címszót foglalna magában magyar, német, angol és francia nyelven, úgy, hogy a szótár minden nyelv esetében minden továbbira megadja a választ. Egy ilyen szakszótár megszerkesztése időigényes feladat, és Kosáry könyvtárosi idejéből nem is telt ki.

Gondot fordított a munkatárs, majd igazgató a könyvtár állandó fejlesztésére. 1955 végéig a könyvtár több mint 8000, 1956-ban több mint 6000 kötetrel gyarapodott, és a tanszéki megrendelésekkel együtt 706 féle folyóiratot járatott 1410 példányban. Nagyjából itt tartottak a dolgok, amikor Kosáry meghirdette, hogy egy agrártudományi

könyvtárnak tudományos feladata is van, vagyis rendszeresen kutatnia kell a hazai agrártörténetet. (Megjegyzem, hogy Kosáry agrártörténettel nem is foglalkozott, de felfogta, hogy ezen a helyen az agrártörténeti kutatás nem csak lehetséges, de kötelező program.) Létre is jött az Agrártörténeti Munkaközösség, amelyben könyvtári dolgozókon kívül minden, vagy legalábbis csaknem minden jeles agrártörténész helyet foglalt. A munkaközösség azonnal elfogadta egy konferencia megszervezésének gondolatát, és többen előadást is vállaltak. Így Belényesy Márta, Makkai László, Wellmann Imre, Varga János, Szabad György, S. Sándor Pál, Hársfalvi Péter és Tálasi István. Javaslatot tett Kosáry az *Agrártörténeti Szemle* kiadására is, azzal érvelve, hogy egy ilyen folyóirat nemcsak a történészek, de az agrárszakemberek számára is rendkívül hasznos lenne.

Felfigyelhetünk arra, hogy könyvtári szolgálata idején Kosáry új tudományos művet nem tett le az asztalra. A jelenséget magyarázhatja az óvatosság, mivel tudván tudta, hogy történelemszemlélete nem felel meg a hangadó marxista-leninista történész korifeusoknak. Ebből már volt baja bőven. Így aztán kitalált egy olyan kiadványt, amelyben a magyar történelem forrásainak és feldolgozásainak mintegy a katalógusát kínálja fel a kutatóknak (*Bevezetés a magyar történelem forrásaiba és irodalmába*, 1–3. kötet). Ennek hasznosságáról és objektivitásáról nem lehetett vitát nyitni, ezzel szemben végtelen türelmet és gondosságot kívánt meg a szerkesztése.

A távlatos tervekből 1956-ig már semmi sem lett. Kosáryt 1956 októberében beavastották az egyetem Forradalmi Bizottságába. Tulajdonképpen csoda lett volna, ha ezt nem teszik, és az is, ha ő nem vállalja. Mindazonáltal

tal Kosáry tevékenységéről e napokban annyit lehet tudni, hogy nyilvánosan fellépett a rend megőrzése mellett, és óvott attól, hogy az eseményeket bárki személyes bosszúra használja fel. Egyébként sem egyetemi, sem könyvtári, sőt gödöllői „zavargásokról” sem lehetett hallani. Vélhetően ezért tartott cirka egy évig, míg a hatóságok Kosáry letartóztatásáról döntöttek. A hallgatás egy éve alatt úgy tűnt, mintha semmi sem történt volna. Megjelent az *Agrártörténeti Szemle* első száma, a különböző meghallgatásokon Kosáryval szemben semmiféle vád vagy kifogás nem merült fel. 1957. november 14-én este azonban mint derült égből a villám, megjelent a lakásán a letartóztatására küldött kis csapat. Azóta sem tudjuk, hogy e lépésnek mi vagy ki állt a hátterében.

Ugyanilyen rejtélyes az egyetemi vezetés viselkedése a következő év során. Az egyetem 1958 októberében kérte a minisztériumtól Kosáry munkaviszonyának megszüntetését. Vajon mit tett közel egy éven át? Csak talán nem fizette ki havi járandóságát is a magára maradt családnak? Alighanem ezt tette.

Mindezek értelmében a Szent István Egyetem joggal nevezte el könyvtárát és levéltárát Kosáry Domokosról, és az itt bemutatott kötettel bizonyította, hogy – nem törődve a mindenkor divattal – kiváló, utat mutató munkatársának emlékét ápolja és megőrzi. (*Koósne Török Erzsébet – Kissné Bognár Krisztina szerkesztők: Kosáry Domokos, az Agrártudományi Egyetem tudományos szervező könyvtárigazgatója. Forráskiadvány. Gödöllő: Szent István Egyetem Kosáry Domokos Könyvtár és Levéltár–Szent István Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft., 2015*)

Ormos Mária
történész

Középkori hadtörténet – új megközelítésben

Nehéz recenziót írni egy olyan kiadványhoz, mely lényegében önrecenzióval indul. Márpedig a Zrínyi Kiadó gondozásában megjelent könyv Pósn László és Veszprémy László bevezetőjében rendkívül részletesen ismerteti a kötet megszületésének körülményeit, illetve megjelenésének szükségességét. A bevezető, amely hangsúlyozza, hogy a középkori katonai logisztika feldolgozása terén egy régen fennálló hiányt pótol a kötet, rövid ismertetőt is mellékel a könyv tizennégy tanulmányáról. A tanulmánykötet két fő részre oszlik. A könyv első felében hat tanulmány foglalkozik a középkori hadellátás bemutatásával európai viszonylatban, majd a második részben további nyolc, a középkori Magyarországgal foglalkozó írást olvashatunk.

A könyv két része között valóban éles cezúra figyelhető meg, ami valójában magától értetődik, hiszen egy európai kitekintésre is vállalkozó magyar tanulmánykötet nyilvánvalóan szélesebb spektrumot próbál átfogni, amikor egyetemes történeti téma feldolgozását tűzi ki céljául. Így a kiadvány első része egyfajta portrészítést képez ad a középkori Európa harctereinek logisztikai kihívásairól, illetve az azokra adott válaszokról. Az említett rész a *Katonai logisztika a középkori Európában* címet viseli. A kötet Bizánc, a Német-római Birodalom, a százéves háborún keresztül Anglia és Franciaország, a Német Lovagrend és Litvánia, illetve Itália hadszínterein keresztül próbálja bemutatni a korszak (nagyjából a 9–16. század) hadseregét, annak hadellátására koncentrálna.

Az első részből mindenképpen kiemelendő tanulmány, melyből a könyv címét adó

kiváló megfogalmazás is származik, Bárány Attila írása, a százéves háború katonai logistikájának angol szemszögből való bemutatása. Bárány Attila munkásságát ismerve nem meglepő, hogy az angol fél részéről közelít a háború hadseregellátásának ismertetéséhez. A tanulmány több mint ötven oldalt tesz ki a kicsivel több, mint háromszáz oldalas kötetből, mégis, igazán részletesen csak a háború első szakaszát (1337–1360) dolgozza fel. Ám ha lehet a tanulmányban negatívumot találni, az ki is merül ebben az észrevételben. Rendkívül részletes leírást kapunk a korszak angol hadellátásáról és összetett, a korát megelőző katonai logistikájáról. Mindezt gördülékeny és olvasmányos stílusban. Bárány Attila kitér a háború finanszírozásának kérdéséről kezdve a kikötők és az angol hajóállomány háborús helyzetre való felkészítésén át az élelem beszerzésére és annak felhasználására is. A rendkívül mélyreható és adatokban bővelkedő írás görcső alá vesz és kiemel olyan háborús eseményeket, melyek logisztikai szempontból igazi kihívást jelentettek az angol hadigépezet számára. Ilyen Calais ostroma, illetve az 1359–1360-as párizsi hadjárat részletekbe menő feldolgozása.

A könyv két tanulmányt is szentel a Német Lovagrendnek. Az első Pósn László munkája, mely a lovagrend litván háborúira koncentrálna, és megismerhetjük belőle a térségre jellemző speciális, *rejsa* néven emlegetett hadjáratípust, illetve a Német Lovagrend és Litvánia–Livónia között húzódó határterület, a járhatatlansága miatt komoly hadellátási problémákat okozó *Wildniet*. A kötet másik, a lovagrendhez köthető tanulmányában Krzysztof Kwiatkowski a hadjáratok alkalmával a porosz városok Német Lovagrendnek nyújtott támogatásáról értekezik Elbing városának példáján keresztül. A tanulmány

Pósn László fordításában szerepel a kötetben. Bár a könyv bevezetőjében a szerkesztők az angolszász szakirodalomra való hivatkozást ajánlják a szakma figyelmébe, a két, a Német Lovagrenddel, illetve a Bradács Gábor által írt, az Ottók és a Száliak korának katonai logistikájával foglalkozó tanulmány is rendkívül gazdag német szakirodalom megismerését teszi lehetővé az olvasó számára.

A kötet második fele a *Hadszervezet és hadellátás a középkori Magyarországon* címet kapta. Az ebben a részben megtalálható tanulmányok már jóval konkrétabb eseményeket vagy jelenségeket tárgyalnak, és az időtávok is leszűkülnek az európai katonai logistikát vizsgáló részhez viszonyítva. Bár a tanulmányok hozzávetőlegesen itt is ugyanazt a korszakot (10–17. század) vizsgálják, már megtalálhatóak a magyarországi viszonylatban is mellékhadszíntérnek számító hadjáratok, illetve fegyveres összetűzések hadellátási szempontból való feldolgozásai. Jó példa az előbbiekre E. Kovács Péter tanulmánya, aki Zsigmond 1413-as Velence ellen irányuló isztriai hadjáratát elemzi nem is igazán logisztikai szempontból, hanem abból a szemszögből, hogy egy mellékhadszíntér milyen kapcsolatban állt, hogyan viszonyult a hadjárat fő hadszíntéréhez. A tanulmány részletesen foglalkozik Velencének a harcokban bevetett egyéb eszközeivel, melyek nem a konkrét fegyveres összecsapásokra korlátozódtak. Ilyen volt az aktív kémtevékenység, illetve az ingadozó szövetségeseik pénzzel való támogatása. A fentebb említett sorba illeszkedik Nógrádi Árpád tanulmánya is, aki az 1450-es években Sárvár és Csepreg környékén tevékenykedő zsoldoscsapatok között lezajlott összecsapásokat részletezi. Maga Hunyadi János mint országos főkapitány is belekeveredett a harcokba, de számottevő eredményt ő

sem volt képes felmutatni a helyzet rendezésében. Természetesen nagyobb volumenű eseményeket vizsgáló tanulmányok is szerepelnek a kötet második felében. Kiemelendő Torma Béla Gyula a kalandozó magyarok logistikáját vizsgáló írása. A rendkívül részletgazdag munka kiváló összefoglalást nyújt a kalandozó magyarok harcrendjéről, harc eljárásáról, illetve fegyverzetéről. A tanulmány megpróbálja rekonstruálni a kalandozások kora magyar seregeinek nyílvesztő-felhasználását, és a hozzá kapcsolódó szükséges utánpótlást mind a nyílvesztők tömegére, mind a málháslovakra vonatkozóan. Az így kapott következtetések szerint a katonai logisztika jelentette az egyik legfontosabb kihívást a korszak magyar seregei számára. A kötet társszerkesztője, Veszprémy László is jegyez egy tanulmányt a kiadvány második, a középkori magyar hadtápról szóló részében. Veszprémy munkája az Árpád-kor hadseregellátását mutatja be kiragadott példákon keresztül. Átfogó képet kapunk a német seregek előtt álló elképesztő logisztikai kihívásokról a 11. század német–magyar háborúiban. A magyarnál lényegesen nagyobb katonai erő képviselő császári seregek sem voltak képesek áthidalni a hadseregellátás hiányából adódó problémákat. A tanulmány rámutat, hogy a hadtáp hiánya döntően befolyásolta a német seregek eredményességét a Magyar Királyság területén vívott háborúkban. Az írás érintőlegesen foglalkozik még a kereszties hadak magyarországi átvonulásának és ellátásának kérdésével, illetve II. András kereszties hadjáratával is. A kiemelt tanulmányok mellett több munka tárgyalja a magyarországi végvárok ellátottságát, illetve felszereltségét a 15–16. században, de a késő Árpád-kor hadseregének logistikájába is betekintést nyerhetünk. A kötet végén egy kisebb fejezet segít

a válogatott fogalmak magyarázatával, mely fogódzót jelenthet a középkori hadtörténetet tekintve kevésbé jártas olvasók számára.

Összességében hiánypótló munkát vehet a kezébe az, aki időt szán a Zrínyi Kiadó kötetére. Ahogy bevezetőjükben a szerkesztők is megjegyzik, valóban inkább a szakmai köröknek ajánlott a könyv, de ha valaki szereti a hadtörténelmet és annak egy, Magyarországon eddig kevésbé tárgyalt szegmensével szeretne megismerkedni, akkor mindenképpen megéri a kötetre szánt idő. Mind az európai kitekintés, mind a magyar hadsereg

látással foglalkozó részek tanulmányai komoly szakmai nivót képviselnek, ezzel pedig a hazai hadtörténezsnek egyik régi tartozását rója le a kötet, kifejezetten elegáns stílusban. A kötet küllemét tekintve is szép és igényes kiadvány. (Pósán László – Veszprémy László szerkesztők: *A hadtűp volt maga a fegyver. Tanulmányok a középkori hadseregvezet és katonai logisztika kérdéseiről. Budapest: Zrínyi Kiadó, 2013. 326 p.*)

Pozsár Dániel

PhD-hallgató, ELTE BTK

Történelemtudományi Doktori Iskola

Metaforák metaforája

Több szempontból is hiánypótló mű Szabó Réka *Metaforák és szimbólumok* című könyve. Elgondolkodtató és nem pusztán tudomány-szociológiai érdekesség, hogy ismét a nyelvészet felől érkezett egy jelentős pszichológiai vonatkozású mű, amely ráadásul két olyan megismerési rendszer, a kognitív és a pszichoanalitikus szemléletmód kapcsolódási pontjait kutatja, amelyeket világok választanak el egymástól. Diagnosztikus értékű, hogy pszichológusok nemigen dolgoznak efféle kérdéseken, és a szerző magas labdát csap le a jungiánus szimbólumok és a lakoffiánus metaforák integrálására tett kísérletével. Ráadásul nem egyszerűen nyelvészeti munkáról vagy valamiféle izgalmas szómágiáról van szó: a kimondott, a kimondható és a kimondhatatlan analízisétől indult maga Freud is, a szavak ereje felől közelít az analitikus filozófia, a gondolkodás és nyelv viszonya pedig központi kérdése a kognitív tudománynak.

Szabó Réka a kognitív nyelvészet radikális episztemológiáját, a testesültséget (*embodiment*), illetve annak egy központi elemét, a konceptuális metaforát, és a jungi pszichoa-

nalízis szimbólum fogalmát igyekszik közös rendszerbe foglalni. Számos pszicholingvista és kognitív tudós számára már a metafora is túl magas szintű nyelvi konstrukció ahhoz, hogy jól kutatható legyen, legalábbis amíg a nyelv alapvető építőköveinek és mechanizmusainak megbízható leírását meg nem tudjuk adni, a szimbólumok mint reprezentációs egységek azonban végképp a megismerés határán túlra száműzettek. Ezért is nagy vállalkozás e rendkívül elvont és magas szintű metastruktúrák vizsgálata – és a szerző ennek megfelelő alapossggal járja körül őket.

A kognitív metafora elmélet (George Lakoff és Mark Johnson, illetve magyarul Kövecses Zoltán és Benczes Réka munkái) szerint az olyan hétköznapi kifejezések is valóban metaforikusak, mint „ragyogó ötlet” vagy „lapos előadás”, tehát a metafora nem a költészet vagy a retorika kitüntetett eszköze, hanem mindennapi jelenség. Mindennapi-ságát pedig annak köszönheti a feltételezés szerint, hogy gondolkodásunk alapvető mechanizmusáról van szó: az absztrakt gondolatokat metaforikus leképezések révén értjük meg. Például egy olyan elvont fogalom, mint amilyen a *tudás*, konkrét, perceptuális tapasztalatok révén nyer struktúrát – és tartalmat – mint például a *látás*. A *tudás látás* fogalmi metafora olyan nyelvi megnyilvánulásokban érhető tetten, mint a „nem látja át a problémát”, „nagyon homályos, amit mondasz” vagy „a nyomozók sötétben tapogatóznak”. Szabó Réka központi tézise, hogy a fogalmi metaforák a jungiánus szimbólumok köré csoportosíthatók; érvelése szerint egyúttal ennek a tükröképe is igaz, vagyis a szimbólumok által kiváltott asszociációk metaforikus kifejezések formájában jutnak el hozzánk.

Fontos megjegyezni: a szerző *szimbólum* alatt kifejezetten Carl Gustav Jung szimbólumait érti, vagyis nem egészen a tünetek vagy álmok szimbolikus (freudi) értelmezését, hanem a jungi kollektív vagy egyéni tudattalamból felmerülő tartalmakat, illetve azok egyetemes szimbólumokként történő azonosítását (például egy fa mint az élet fája, vagy a tűz, a víz, a föld, a levegő mint szimbólum stb.). E felfogás szerint a szimbólum sosem ragadható meg pontosan, kicsit olyan, mint egy festmény: adhatunk részletes leírást róla, készíthetünk vázlatokat, fényképet vagy másolatot, az eredmény sosem pont az lesz, mint az eredeti. Mégis, amit el tudunk mondani róla, képszerű lesz, és épp a szimbólum e képi jellege válik a metafora forrástartományává (tudatos, perceptuális alapjává); céltartománya pedig a szimbólum rejtett jelentése, vagyis a tudattalan tartalom. A szimbólumokat azonban legfeljebb végtelenül megközelíthetjük, elérni sosem érhetjük el: egy-egy metafora a szimbólum teljes mondanivalójának csak kis részét adhatja vissza, sőt, az összes metafora felsorolásával sem kapunk teljes leírást, mély tartalmának mindig csak perifériájához férünk hozzá. A könyv érdekessége, hogy több terápiás helyzet elemzésén keresztül igyekszik kimutatni, ahogy tudattalan, szimbolikus

tartalmak valóban metaforikus kifejezések révén „jönnek a felszínre” az ülések során – s lényegében ez adja a könyv velejét.

A szerző a kognitív nyelvészeti gondolati struktúrák és a metafora, a szimbólum jungiánus és egyéb felfogásainak átfogó ismertetését követően rendkívül finom elemzést adja annak a folyamatnak, ahogy a pszichoterápiás helyzetben bizonyos lelki működések képekké alakulnak, és ahogy a képes-képletes jelentés megszületik: ahogy egy tudattalan tartalom szimbólum formájában a felszín felé közelít, aminek tudatosuló vonatkozásai képi tartalmakká alakulva metaforikus leképezéseket inspirálnak, melyek végül metaforikus nyelvi kifejezésekben verbalizálódnak, és kerülnek be a terápia terébe. A mű nagy érdeme, hogy mindkét oldaláról megvizsgálja az érmét: egyrészt a jungi mélylélektan szemzőgéből, ahogy belső képeinket metaforikus szavakba öntjük, hogy megértsük a pszichikus-emocionális folyamatokat, másrészt a kognitív nyelvészet felől, ahogy a nyelvi kifejezéseket perceptuális képekre vezetjük vissza, hogy megértsük az elmét. Rendkívül tanulságos, ahogy a pszichológusok számára oly átjárhatatlannak tűnő megismerési szakadék elme és psziché között milyen lehet finom, mégis szisztematikus nyelvi átkötéseket kap.

A szerző szinte észrevétlenül (és talán nem is egészen szándékosan) azonban mindkét gondolatrendszer határait feszegeti. Először is, a metaforaelmélet egyik alapvetése, hogy a metaforákat perceptuális élmények motíválják, és e szenzomotoros tapasztalatok teszik őket univerzálissá. Például a 'düh' a világ majd minden táján valamilyen 'forró folyadék', így „előnt” vagy „fortyog”, ami könnyen összefüggésbe hozható a harag során megemelkedő vérnyomással; amiben a kultúrák eltérnek, az, hogy honnan is jön, a fejből, a hasból, a szív-

ből stb. Amikor azonban Szabó azt javasolja, hogy a metaforákat szimbólumok motiválják, átlép a tudattalan világába – amibe persze beleférnek testi-fizikai élményei, de a közvetlen tapasztalás világából a fantázia és az érzelm birodalmába érkezünk. Ezek szerint sok más „lángoló” metaforával együtt a dühöt is valójában a szenvedély szimbóluma, a *tűz* motiválja, s ha fenn is tartjuk, hogy ez végtére testi érzetekkel van összefüggésben, felmerül a kérdés, hogy mennyire fizikai percepció a fantázia? Vajon testi élmény-e a képzelet – a sárkány és a szfinx? Nem vitás, hogy az érzékek nagy hatással vannak a kognícióra, de eléggé másként fest a dolog, ha a metaforákat szimbólumok motiválják – amiket pedig érzelmek –, nem pedig érzetek.

Egyúttal a metaforák is felkavarják a jungi gondolatvilágot. Valóban szükséges-e (kollektív, tudattalan) szimbólumokat feltételeznünk a metaforákat motiváló kép(zet)ek mögött? Ha a szimbólum több mint kép, nem lehet, hogy ez a többlet maga az emocionális jelentés vagy inkább *jelentőség*? Ha pedig annál sematikusabb (vagyis annál kevésbé képszerű), minél mélyebbről jön, van-e egyáltalán bármi a legmélyén – egy érzelmen túl? Archetipikus vagy kollektív? A kérdés kulcsa a pszichoanalízis mint nyelvelemzés paradoxona: felfedezésről vagy feltalálásról van-e vajon szó? Az ismertett terápiás álom- és életútelelmzések jól illusztrálják, mennyire konstruktív és kétirányú jelentésadási folyamatok zajlanak egy pszichoterápia során. Ha tetszik, ki lehet lyukadni szimbólumokhoz is, ám a forrás- és céltartományok, úgy tűnik, könnyen átfolyhatnak egymásba (az életút mint műalkotás a forrástartomány feltérképezését, az alkotás mint egyéni szimbólum értelmezése a céltartomány megkeresését igényli). Egyáltalán nem elhanyagolható mozzanat,

hogy a lelki dinamikák rekonstruálása során eleve rendelkezésre állnak olyan kulturális kódok, nevezhetjük őket szimbólumoknak, amelyek aztán a szemlélő számára is „szimbolikusan” visszaolvashatók. Mindazonáltal a metaforák csak aláhúzzák, milyen fontos szerepet játszanak a képek és a képzetek az érzelmek verbális kifejezésében. A pszichoanalízis jelentésadási folyamatai valóban könnyen válnak szimbolikus értelmezésekké, valami valami mást jelenít meg, valami valami más helyett áll, de hogy ezek határozott ösképek lennének, vagy, hogy ezeknek mi a pontos köre, nagy kérdés. Másként fogalmazva: nem lehet, hogy szimbólum mindaz, ami mélyebb jelentéssel – és érzelmi jelentőséggel – bír? Ahogy a szerző is megjegyzi egy ponton: még egyes szavak is hordozhatnak szimbolikus jelentéstartalmat. Igen szórakoztatóan elemzi például, milyen szimbolikus jelentéseket kaphat a tűz, a föld, a víz, a levegő, vagy hogyan jelenik meg az epe és a máj szimbolikus képként a magyar irodalom és költészet elmúlt pár száz évének metaforáiban, ami nem hagy kétséget eleink kimagasló görög–latin felkészültsége felől, de ahogy Hippokratész személyiségtana egyre kevésbé része az általános műveltségnek, nem csak ott merül-e fel mélyebb jelentés, ahol azt valaki megtalálja – vagy megalkotja?

Függetlenül a metaforák perceptuális gyökerének és a tudattalan szimbolikus jellegének pszichológiai realitásától (aminek megállapítása végső soron empirikus kérdés és a pszichológusok feladata), Szabó Réka kimagasló alaposággal mutatja ki, hogy a metaforikus kifejezések képletes jellegük alapján jól elrendezhetőek jungi szimbólumok körül. E reprezentációs réteg tanulmányozása magával ragadó, ha a tudattalan mélységeiben, ha a szellem magaslatain lakozik, és a könyv

rendkívül szórakoztató olvasmány, nem csupán nyelvészek és pszichológusok, de minden, a humaniorák iránt érdeklődő, a nyelv játékoságára és mély összefüggéseire kíváncsi olvasó számára. A szerző többször említi, hogy hely hiányában nem áll módjában kifejezni bizonyos gondolatait, úgyhogy remélhetőleg nemsokára ismét egy hasonlóan színes, nyelv-

„Fővárosi utcák és terek – a településmorfológia szemüvegén keresztül”

A településföldrajz mintegy száz esztendeje vizsgálja a települések belső szerkezetét. Amíg a második világháború előtti időszakban inkább a morfológiai szempontok voltak a mérvadóak, addig 1945 után már a funkcionális vizsgálatok kerültek előtérbe. A falvak és városok belső felépítésének elemzése ugyan évtizedeken át kissé háttérbe szorult más kutatási szempontokkal szemben, kontinuitása végig fennmaradt, létrehozva és kikristályosítva a településföldrajzon belül a településmorfológiai irányvonalat. A településmorfológia egyaránt foglalkozik a települések különböző beépítési formáinak, illetve funkcionális szerkezeteinek leírásával, tipizálásával. A településmorfológiai kutatások két fő pillérre támaszkodnak: egyrészt hiteles történeti adatokra, másrészt pedig a szintén nélkülözhetetlen empirikus vizsgálatokra. A 2015 tavaszán a szombathelyi településföldrajzi iskolát képviselő Csapó Tamás és Lenner Tibor tollából megszületett *Budapest településmorfológiája* című könyv e kritériumoknak tökéletesen megfelel. Fogalmazhatnánk úgy is, hogy módszereiben klasszikus, ugyanakkor az adatok, információk feldolgozásában, a kapott eredmények megjelenítésében a modern

vileg gazdag és mélyen szántó könyvvel jelentkezik. (Szabó Réka: *Metaforák és szimbólumok, C. G. Jung szimbólumértelmezésének és a fogalmi metaforák elméletének összevetése. Budapest: Oriold és Társai, 2015, 232 p.)*

Forgács Bálint

posztdoktori ösztöndíjas
Université Paris Descartes, Franciaország

térinformatikai alkalmazásokat felhasználó, komplex szemléletű műről van szó, amely egyedülálló a maga nemében. Egyedülálló, hiszen a vizsgált terület egy metropolisz, ahol a beépítési típusoknak, városszerkezeti változásoknak feltérképezése, nyomon követése és tipizálása mindeddig váratott magára, s egyedülálló a mindezen feladatok elvégzéséhez szükséges hatalmas kvantitatív és terepi munka is. Ahogy a szerzők maguk is megfogalmazták a kötet előszavában: „bejártuk a főváros összes utcáját, terét, beépített és beépítetlen területét, ahol felmértük a beépítés milyenségét, típusát, az épületek és területek funkcionális hasznosítását”.

A könyv négy nagy fejezetre tagolódik. Az első Budapest történeti földrajzát taglalja. A város térbeli növekedési jellegzetességeire is hatást gyakorló természeti adottságok, azaz helyzeti energiák – úgymint eltérő arculatú és domborzatú nagytájak találkozása, a Duna mint folyami jellegű vásárvonal, az országon belüli centrális fekvés –, valamint helyi energiák – domborzati viszonyok, vizek, építő- és díszítőanyagoknak alkalmas kőzetek stb. – nagymértékben segítették a várossá, később pedig fővárossá válás folyamatát. A Duna két partján fekvő Pest és Buda területe ugyanakkor a társadalmi fejlődés különbözősége mellett e helyzeti és helyi energiák miatt is eltérő ütemben és mértékben fejlődött. A 20. század közepén a pesti oldal területén már három-

szorosán, népességében több mint négyszeresen múlta felül a budai városrészeket.

A második fejezet Budapest beépítésének milyenségével, formájával, időbeli alakulásával foglalkozik. Az elmúlt negyed évszázadban kissé nőtt a főváros beépítettsége: napjainkban a település közel $\frac{3}{4}$ -e van beépítve, melynek közel fele lakóterület. A főbb beépítési típusok közül legjellemzőbb az elsősorban a pesti külső kerületekben meghatározó családi házas, a lakótelepeket és társasházakat magában foglaló ún. többszintes tömbös (III., IV., XI., XIII. kerületek, illetve Buda zöldövezeti részei és Zuglói), valamint a belső kerületekre jellemző többszintes zárt beépítés. Ez utóbbiak a legöregebbek, ma már lényegében csak foghíjak kitöltésekor épülnek. A településmorfológiai kutatásokban ma már kihagyhatatlan, új vizsgálati szempontként jelennek meg a lakóparkok. A lakóparkok a globalizáció korában a jövedelmi különbségek nyomán fragmentálódó városi terek egyik legszembetűnőbb példái. Ezek a világszerte rohamos léptékben szaporodó zárt lakóközösségek Budapesten is nagy számban vannak jelen a rendszerváltozás óta: napjainkra 308 db lakópark épült fel, összesen 48 ezer lakással. Megjelenésükben, szolgáltatásaikat tekintve is nagyon különbözőek. Főképp a XIII., XIV. kerületben találhatók nagy számban.

A harmadik fejezet a főváros funkcionális szerkezetét taglalja. A városszerkezet alapvető-

en Nagy-Budapest megszületésével jött létre, ám abban azóta számottevő módosulások zajlottak le. 1990 után ezek közül a legfontosabbak az alábbiak voltak: a *city* terjeszkedése, a bevásárlóközpontok és hipermarketek szubcentrumokként való funkcionálása, az egykori ipari övezet térvesztése és a városi zöldterületek arányának csökkenése.

A negyedik, egyben záró fejezet a főváros kerületeit egyenként veszi górcső alá, s mutatja be azok térszerkezeti, morfológiai sajátosságait. Igaz ugyan, hogy így óhatatlanul feldarabolódnak az egyes funkcionális övek, de ez a fajta megközelítés az egyes kerületek határain belül rendkívül részletes információval látja el az olvasót, továbbá nagymértékben segíti azok kíváncsiságának a kielégítését is, akik kifejezetten egy-egy kerület főbb jellemzőit szeretnék csupán alaposabban megismerni.

Csapó Tamás és Lenner Tibor könyve a főváros közigazgatási határain belüli területeire fókuszál, figyelmen kívül hagyva az agglomeráció településeit. Adott tehát a továbblépési lehetőség, egy újabb jelentős mérföldkő megtétele a remélhetően nem túlságosan távoli jövőben. (*Csapó Tamás – Lenner Tibor: Budapest településmorfológiája. Szombathely: Savaria University Press, 2015, 388 p.*)

Balogh András

egyetemi docens, Nyugat-magyarországi
Egyetem Természettudományi és Műszaki Kar
Földrajz és Környezettudományi Intézet

CONTENTS

Management and Disposal of Spent Nuclear Fuel and Radioactive Waste

Guest Editor: József Ádám

József Ádám – János Gadó – Ákos Horváth: Introduction	514
Ferenc Kereki: Management and Disposal of Radioactive Waste in Hungary	518
Bálint Nős: Hungarian National Program for the Management of Spent Nuclear Fuel	527
Zoltán Hózer: Main Characteristics and Reprocessing of Spent Nuclear Fuel	534
Máté Szieberth: Options of the Closed Nuclear Fuel Cycle.....	541
János Gadó: Fast Reactors in the Nuclear Fuel Cycle	552
Attila Aszódi: Nuclear Fuel Cycle – Perspective from Energy Policy.....	560

Study

István Szabó – Péter Lévai: Europe's Ten Years Scientific Roadmap. The ESFRI Roadmap 2016 and Its Hungarian Connections	563
Botond Penke – Tibor Hortobágyi – Livia Fülöp: Ageing and Alzheimer's Disease	573
Kinga Hazai: Whose Treasure Is It Anyway? Questions about Restitution	584
Ákos Farkas: Two Hundred and Twenty Years in the Service of Education, Science, and Culture: The Huxley Family.....	594
Pál Venetianer: A Typical Hero of 21 st Century Science: Feng Zhang	602
Károly Kapronczay: Hungarian Medicine between the World Wars.....	608

The Scientists of the Future

Introduction (<i>Rita Kiss</i>)	616
Teaching Underprivileged Children in a Formal and Informal Way (<i>István Lakó</i>)	616

<i>Outlook (Júlia Gimes)</i>	625
------------------------------------	-----

<i>Book Review (Júlia Sipos)</i>	629
--	-----

Ajánlás a szerzőknek

1. A Magyar Tudomány elsősorban a tudományterületek közötti kommunikációt szeretné elősegíteni, ezért főleg olyan dolgozatokat közöl, amelyek a tudomány egészét érintik, vagy érthetően mutatják be az egyes tudományterületeket. Lapunk nem szakfolyóirat, ezért a szerzőktől közérthető, egy-egy tudományterület szaknyelvét mellőző cikkeket várunk.

2. A terjedelem ne haladja meg a 30 000 leütést (szóközökkel együtt), ha a tanulmány ábrákat, táblázatokat is tartalmaz, kérjük, arányosan csökkentse a szöveg mennyiségét. Beszámolók, recenziók terjedelme ne haladja meg a 7–8000 leütést. A kéziratot.doc vagy .rtf formátumban, e-mailen vagy CD-n kérjük a szerkesztőségbe beküldeni.

3. Másodközlésre csak indokolt esetben, előzetes egyeztetés után fogadunk el dolgozatokat.

4. Kérünk a cikkhez 4–6 magyar kulcsszót és az írás angol címét, valamint a szerző nevét, tudományos fokozatát, munkahelye pontos nevét, s ha közölni kívánja, e-mail címét. Külön kérjük azt a levelezési és e-mail címet, telefonszámot, ahol a szerkesztők a szerzőt általában elérhetik.

5. Kérjük, hogy a cikkben mindig jelöljék az idézetek forrásait.

6. Idegen nyelvű idézetek esetében kérjük azok lábjegyzetben vagy zárójelben való fordítását is.

7. Kérjük, az irodalomjegyzékben adják meg az idézett cikkek DOI (Digital Object Identifier) kódját, s ha a cikkhez, könyvhöz ismernek szabad, ingyenes elérést, akkor azt is.

8. A szövegben emlegetett, hivatkozott személyek vagy intézmények teljes nevét kérjük kiírni azok első előfordulásakor.

9. Kérjük, az idegen nyelvű ábrák szövegét fordítsák le, vagy mellékeljenek egy szölistát.

10. Ha a szerző nem saját illusztrációit használja, akkor fel kell tüntetni azok forrását. A szerző dolga, hogy kiderítse a copyright tulajdonosát, és amennyiben nem szabad felhasználású, engedélyt szerezzen a közléshez.

11. Szövegtörés kiemeléséül *dőlt*, vagy *félkövér* formázást alkalmazunk; ritkítást, VERZÁLT,

KISKAPÍTÁLIST és aláhúzást nem. A jegyzeteket lábjegyzetként kérjük megadni.

12. Az ábrák érkezhetnek papíron, lemezen vagy e-mail útján, bármilyen vektoros vagy pixeles formátumban; utóbbi esetben jól olvasható, finom felbontásban és min. 10×10 cm-s tényleges méretben. Kérjük, hogy ne a Word-dokumentumba ágyazottan, hanem külön küldjék őket. Készítésüknél vegyék figyelembe, hogy lapunk **nem** színes, és a tükörméret 125 mm. A szövegben tüntessék fel az ábrák kívánatos helyét.

13. A hivatkozásokat mindig a közlemény végén közöljük, a lábjegyzetekben legfeljebb utalások lehetnek az irodalomjegyzékre. Irodalmi hivatkozások a szövegben: (szerző, megjelenés éve) pl. (Balogh, 1957). Ha azonos szerző(k)től ugyanazon évben több tanulmányra hivatkoznak, akkor a közleményeket az évszám után írt a, b, c jelekkel kérjük megkülönböztetni mind a szövegben, mind az irodalomjegyzékben. Kérjük: csak olyan és annyi hivatkozást írjanak, amilyen és amennyi elősegíti a megértést. Számuk ne haladja meg a 10–15-öt.

14. Az irodalomjegyzéket ábécé-sorrendben kérjük. A tételek formája a következő legyen:

- Folyóiratcikkek: Feuer, Michael J. – Towne, L. – Shavel, R. J. et al. (2002): Scientific Culture. *The Educational Researcher*. 31, 8, 4–14.

- Könyvek: Rokkan, Stein – Urwin, D. W. – Smith, J. (eds.) (1982): *The Politics Identity*. Sage, London

- Tanulmánygyűjtemények: Halász Gábor – Kovács Katalin (2002): Az OECD tevékenysége az oktatás területén. In: Bábosik István – Kárpáthi Andrea (szerk.): *Összehasonlító pedagógia*. Books in Print, Budapest

15. Ha internetes írásra hivatkozik a szerző, ennek formája a szövegben (URL₁), (URL₂) stb., az irodalomjegyzékben URL₁: Magyar Nemzeti Bibliográfia <http://mn.b.hu/>

16. A Magyar Tudomány kefelevonatokat nem küld, de elfogadás előtt minden szerzőnek elküldi egyeztetésre közleménye szerkesztett példányát.